

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
АССОЦИАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТДЕЛОВ
ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ СТРАН
ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ (АМО)
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ
И ЭЛЕКТРОНИКЕ США (IEEE) (студенческая секция)

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

ДЕВЯТНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

28 февраля - 1 марта 2013 г.
МОСКВА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ТОМ
2



МОСКВА

Издательский дом МЭИ

2013

УДК 621.3+621.37[(043.2)]

Р 154

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕ-
Р 154 **ТИКА:** Девятнадцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 4 т. Т. 2. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 356 с.

ISBN 978-5-383-00835-5

ISBN 978-5-383-00837-9 (Том 2)

Помещенные во втором томе сборника тезисы докладов студентов и аспирантов российских и зарубежных вузов освещают основные направления информационных технологий, электротехники, электромеханики, электротехнологий, инженерной экологии.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов, преподавателей вузов и инженеров, интересующихся указанными выше направлениями науки и техники.

Тезисы печатаются с авторских оригиналов методом прямого репродуцирования. В отдельных случаях в авторские оригиналы внесены изменения технического характера. Как правило, сохранена авторская редакция.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Серебрянников С.В. — ректор, председатель Оргкомитета

Н.В. Скибицкий — проректор МЭИ, сопредседатель

П.В. Росляков — первый проректор МЭИ, сопредседатель

Е.В. Бычкова — научный сотрудник, ответственный секретарь

С.А. Цырук — помощник проректора МЭИ

А.Е. Тарасов — нач. отдела международных связей

С.А. Грузков — директор ИЭТ

И.Н. Мирошникова — директор ИРЭ

А.Т. Комов — директор ИТАЭ

О.Н. Кузнецов — директор ИЭЭ

В.П. Лунин — директор АВТИ

С.А. Серков — директор ЭнМИ

Т.А. Степанова — директор ИПЭЭф

С.В. Белоусов — директор ИМЭЭП

А.С. Федулов — директор филиала МЭИ в г. Смоленске

В.С. Кузеванов — директор филиала МЭИ в г. Волжский

Н.И. Файрушин — директор Энергетического колледжа (филиал МЭИ)

в г. Конаково

ISBN 978-5-383-00835-5

ISBN 978-5-383-00837-9 (Том 2)

© Авторы, 2013

© ЗАО «Издательский дом МЭИ», 2013

Направление
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный руководитель направления —

директор АВТИ, д.т.н.,
профессор В.П. Лунин

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Председатель секции — к.т.н., доцент В.С. Зубов
 Секретарь секции — к.ф.-м.н., доцент А.Е. Вестфальский

Е.М. Белякова, студ.; рук. И.В. Шевченко, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА t -АРНОГО СЛИЯНИЯ
УПОРЯДОЧЕННЫХ ДАННЫХ**

Современным направлением исследования алгоритмов сортировки является разработка комбинированных алгоритмов, имеющих преимущества перед базовыми алгоритмами в широком диапазоне размеров задачи. Многопутевое или t -арное слияние, где t — число путей слияния, является хорошей основой для композиций. Небольшая ($t \gg 2$) высота дерева слияния обуславливает малое число пересылок записей — главная проблема, которая решена на основе слабой пирамиды. Ускорение начальной фазы сортировки (упорядочение групп записей) требует сокращения числа вспомогательных действий и пересылок элементов данных.

Предложены и исследованы 8 реализаций начальной фазы. Лучшие из них сокращают время выполнения в 1,5 раза. Все реализации являются списковыми [1], то есть перемещаются не записи, а курсоры. Пересылка каждой записи происходит однажды, в конце.

Исследование реализаций выполнялось с помощью системы Intel VTune Performance Analyzer 9.1.406. Оно показало, что бинарное слияние по всем показателям лучше конкурирующих реализаций. Вариант простого слияния, разработанный авторами, по структуре отличается от варианта [2], экономичнее по числу инструкций и работает быстрее. График зависимости времени от числа путей слияния для нескольких исследуемых реализаций представлен на рис. 1.

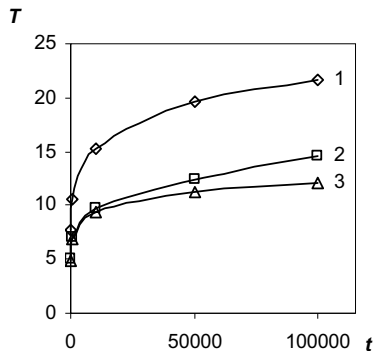


Рис. 1. Зависимость времени T от числа путей слияния t при $N = 10^6$ для сортировок с начальной фазой:
 1 — пирамидальная; 2 — естественное слияние; 3 — простое слияние

Итак, создан комбинированный алгоритм [3], обеспечивающий высокую производительность сортировки при больших размерах задачи. С ростом нагрузки R растет и выигрыш (при числе записей $N = 10^6$, числе путей слияния $t = 10^3$, длине записи $R = 88$ общий выигрыш составляет 40 %), при снижении ($R = 48$) выигрыш менее ощутим — 15 %.

Литература

1. **Зубов В.С., Шевченко И.В.** Структуры и методы обработки данных: Практикум в среде Delphi. — М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 2004. — 304 с.
2. **Кнут Д.Э.** Искусство программирования. Т. 3. Сортировка и поиск. — 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2007.
3. **Зубов В.С., Шевченко И.В.** Новый алгоритм сортировки по методу многопутевого слияния // Вестник МЭИ. 2007. № 6. С. 49 — 56.

О РАЗРЕШИМОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ЗАДАЧИ КОШИ В СЛУЧАЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПО «КОНИЧЕСКОЙ» ПОВЕРХНОСТИ

Будем обозначать $t, z \in \mathbb{C}^1$ — комплексные переменные, $u' = \frac{\partial u}{\partial z}$,

$Du = \frac{\partial u}{\partial z}(t, z)$; $\sigma > 0$, $R > 0$, $m = (m_1, \dots, m_N)$, $m_j \geq 1$ — фиксированные вещественные числа

В области V рассмотрим следующую задачу:

$$u' - A(t, z, D)u = h(t, z); \quad u(t_0, z) = \varphi(z), \quad (1)$$

где $A(t, z, D)$ матрица размера $N \times N$ ($N \geq 1$) дифференциальных операторов конечного порядка:

$$A_{ij}(t, z, D) = \sum_{|\alpha| \leq m_{ij}} a_{ij}^\alpha(t, z) D^\alpha,$$

с коэффициентами a_{ij}^α — аналитическими в V . Введем следующие функциональные пространства:

$D_{m_i R_j p}(z_0)$ — пространство вектор-функций $\varphi(z)$, аналитических в «конусе» $V_{\sigma, R}(t_0, z_0) \cup U_R(z_0)$, для которых L_p — норма с весом с интегралом Лебега по кругу. Функции из указанного пространства допускают особенности степенного характера при подходе к границе круга;

$Y\left(\frac{R}{\sigma}; D_{m, R, \sigma; 1}\right)(t_0, z_0)$ — пространство вектор-функций $u(t, z)$, аналитических в «конусе»

$$V_{\sigma, R}(t_0, z_0) = \left\{ (t, z) : |t - t_0| < \frac{R}{\sigma}, |z - z_0| < R - \sigma |t - t_0| \right\},$$

для которых конечна L_p — норма с весом с интегралом Лебега по $V_{\sigma, R}(t_0, z_0)$. Функции из указанного пространства допускают особенности степенного характера при подходе к границе «конуса» $V_{\sigma, R}(t_0, z_0)$.

Имеет место следующая теорема.

Теорема. *Задача (1) локально корректна в пространстве $D_{m,R,\sigma;1}$, если порядки дифференциальных операторов удовлетворяют следующим условиям:*

$$\text{ord } A_{ij}(t, z, D) \leq m_i - m_j, \quad \forall i, j = \overline{1, N},$$

при этом $\text{ord } A_{ij}(t, z, D) = -\infty$, по определению, если $A_{ij}(t, z, D) \equiv 0$.

Этот вопрос в случае норм поточечных оценок функций изучен в работе [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам при Президенте РФ (проект НШ-2033.2012.1) и РФФИ (проект № 12-01-31291).

Литература

1. **Дубинский Ю.А.** Задача Коши в комплексной области. М.: Издательство МЭИ, 1996.

Р. Бисенов, В. Ватрас, Е. Култанбаев, студенты;
 рук. В.В. Тен, к.т.н., доц. (ЕНУ, г. Астана, Казахстан)

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КАЗАХСТАНСКИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТЕРМИНАХ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ

В настоящее время с развитием телекоммуникационных технологий и ростом вычислительной мощности актуальной становится попытка представления энергетических систем в виде математических и компьютерных моделей [1, 2].

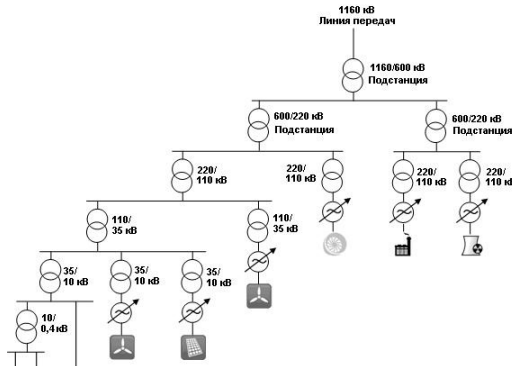


Рис. 1. Модель энергосети, характерной для Казахстана

В целом такую систему можно описать следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu, \\ y = Cx + Du, \end{cases} \quad (1)$$

где x — состояния; u — входы; y — выходы; A, B, C, D — матрицы размерности $n_{x \times n}, n_{x \times r}, m_{y \times n}, m_{y \times r}$ соответственно.

Предложенный подход, с учетом особенностей, характерных для Казахстана (рис. 1), в случае адекватного представления модели открывает широкие возможности по мониторингу и управлению таких систем [3, 4], что в свою очередь повышает устойчивость передачи и оптимальное распределение энергии.

Литература

1. Anderson P.M., Fouad A.A. Power system control and stability. Iowa State University Press, Ames (Iowa), 1977.
2. Lubosny Z. Wind turbine operation in Electric power systems. Springer, 2003.
3. T. Hornik, Q.-C. Zhong, H_∞ repetitive voltage control of grid connected inverters with a frequency adaptive mechanism, Power Electronics, IET, 3(6), 2010, 925—935.
4. Kundur P. Power system stability and control. McGraw-Hill Companies, Incorporated, 1994.

ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ БИЦАДЗЕ—САМАРСКОГО ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ВЕСОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ГЕЛЬДЕРА

Рассматривается область $\Omega \in R_+^2$ с негладкой боковой границей $x = X(t)$, удовлетворяющей условию Жевре. Внутри Ω рассматривается негладкая кривая $x = \gamma(t)$ такая, что $\gamma(t) > X(t)$ при $t \geq 0$. Функция $x = \gamma(t)$ также удовлетворяет условию Жевре. В Ω ставится краевая задача Бицадзе—Самарского с граничным условием второго рода:

$$\frac{\partial U}{\partial t} - a^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = f(x, t), x > X(t), t > 0,$$

$$U(x, 0) = 0, x \geq X(0);$$

$$\frac{\partial U}{\partial x}(X(t), t) + a(t)U(X(t), t) + b(t)U(\gamma(t), t) = \Psi(t), t \geq 0.$$

Предполагается, что правая часть уравнения $f(x, t)$ из весового пространства Гельдера $C_{\lambda, \alpha}^{0, \alpha}(\Omega)$ функций, растущих, вообще говоря, как $\delta^{-1+\alpha}$ при приближении к параболической границе области ($\delta(x, t)$ — параболическое расстояние от точки (x, t) до параболической границы области). Доказано, что решение задачи принадлежит весовому пространству Гельдера $C_{\lambda, \alpha}^{2, \alpha}(\Omega)$ функций, старшие производные которых из $C_{\lambda, \alpha}^{0, \alpha}(\Omega)$ (определение пространств см. в [1]). Для доказательства используется метод потенциалов и работы [2, 3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам при Президенте РФ (проект НШ 2033.2012.1).

Литература

1. Черепова М.Ф. О разрешимости краевых задач для параболического уравнения с растущими вблизи границы коэффициентами // Дифференциальные уравнения, 2007. Т. 43. № 1. С. 110—121.
2. Черепова М.Ф. О некоторых свойствах параболического потенциала объемных масс. I // Дифф. уравнения. 1999. Т. 35. № 12. С. 1701—1706.
3. Черепова М.Ф. О некоторых свойствах параболического потенциала объемных масс. II // Дифф. уравнения. 2000. Т. 36. № 3. С. 408—414.

*Е.М. Вотякова, Б.А. Гнатюк, студенты;
рук. Фролова О.В., к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ СИМПЛЕКС-МЕТОДОМ»

В процессе своей деятельности инженеру приходится решать задачи, связанные с обработкой данных и принятием решений. Эти процессы требуют привлечения математических методов. Одним из таких математических методов является линейное программирование.

Для решения задач линейного программирования применяется симплекс-метод. В целях изучения алгоритма метода разработана программа лабораторной работы

Целью лабораторной работы является изучение студентами принципов составления математической модели задачи линейного программирования, алгоритма симплекс-метода, решение задачи с помощью программы, реализующей симплекс-метод [1].

В исходных данных к лабораторной работе задана функция цели и система ограничений в графическом виде.

Необходимо найти неотрицательные значения переменных, удовлетворяющие многоугольнику допустимых решений и придающие минимальное значение целевой функции:

$$F = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n. \quad (1)$$

Данная лабораторная работа является обучающей, поэтому полностью автоматизированное решение симплекс-методом неэффективно. Чтобы обучающийся разобрался в основах симплекс-метода и узнал его основные принципы, автоматизируется только часть программы. С помощью программы, реализующей симплекс-метод, определяется минимальное значение функции цели при наличии ограничений и значения переменных в каноническом виде.

Программа выдает результаты решения и выполняет проверку графическим методом.

Разработанная программа диалоговой лабораторной работы применяется при изучении дисциплины «Математические задачи электроэнергетики» для студентов 5 семестра обучения специальности 140203 «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем»

Программа адаптирована для современных операционных систем.

Литература

1. **Математическое** программирование: учеб. пособие для вузов / Ю.Н. Кузнецов и др. – М.: Высшая школа. – 1971.

К.А. Дорожкина, студ.; рук. А.В. Князев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНЫХ СЛОВ С ПОМОЩЬЮ СКРЫТЫХ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Рассматривается способ использования скрытых цепей Маркова для решения задачи распознавания рукописных слов. Каждому слову в контексте марковских цепей соответствует модель, включающая в себя матрицы вероятностей переходов между различными буквами и их частями и вектор начального распределения вероятностей появления букв в начале слова.

Монохромное изображение слова, поданное системе на вход, представляется в виде матрицы, состоящей из нулей и единиц, где единица соответствует черному пикселю, ноль — белому. Перед стадией распознавания слово подвергается предварительной обработке. Во-первых, производится фильтрация изображения: устраняются черные пиксели — шумы и белые — проколы, не несущие никакой информативности. Далее следует стадия нормализации — устранение наклона слова и наклона почерка. На данной стадии процесс предварительной обработки изображения заканчивается. Стадия нормализации необходима для корректного разбиения слова в местах предполагаемых соединений букв. Данный процесс называется процессом сегментации. Далее из каждого сегмента, представляющего собой букву или ее часть, извлекается набор характеристик — информация о наличии петель, штрихов, замкнутых контуров.

Для осуществления процесса распознавания необходима предварительная стадия обучения. В данной системе обучение производится на тестовом наборе при помощи алгоритма Баума—Уэлша, заключающегося в итеративном обновлении параметров модели слова до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность [1].

После окончания стадии обучения для распознавания используется алгоритм Витерби [2], позволяющий по вектору признаков, извлеченных из каждого сегмента, однозначно определить букву или ее часть. Корректность полученной последовательности букв и соответствие ее слову проверяется по словарю.

Литература

1. **Radmilo M. Bozinovic, Sargur N. Srihari**, Off-line Cursive Script Word Recognition // IEEE Trans. On Pattern Anal. And Machine Intel. 1989. Vol.11. № 1. P. 68—82.
2. **Рабинер Л.Р.** Скрытые марковские модели и их применение в избранных приложениях при распознавании речи: обзор. // ТИИЭР. 1989. Т.77. № 2.

О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕРОЯТНОСТНОГО АЛГОРИТМА СИНТЕЗА НАКDP-СХЕМ

Изучаются особенности выбора различных значений параметров вероятностных алгоритмов синтеза схем предварительного распределения ключей с хешированием, НАКDP(n, q, L)-схем (Hased Key Distribution Pattern) [1].

Такие схемы являются обобщением KDP(n, q)-схем [2] (семейства множеств ключей $\{K_1, K_2, \dots, K_n\}$, таких, что объединение множеств $K_i, i = 1, \dots, n$, содержит q элементов; включение $K_i \cap K_j \subseteq K_r$ возможно, если r равно i или j). В НАКDP(n, q, L)-схеме ограничение на такие семейства множеств ослабляются за счет применения к ключам хеширования различной глубины (от 0 до L). Семейству $\{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ сопоставляется множество $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ числовых векторов со значениями от 0 до L , значения элементов векторов определяют числа применений хеш-функции к соответствующим элементам множеств семейства. Если не выполняется указанное ограничение, то набор D_r чисел, соответствующих одинаковым элементам множеств K_i и K_j должен быть не сравнимым по отношению «меньше или равно» с поэлементным максимумом соответствующих чисел из наборов D_i и D_j .

В работе [3] описаны результаты синтеза схем при априорно вычисляемых параметрах вероятностного алгоритма синтеза, таких как количество распределяемой ключевой информации k , вероятность p — распределения данного ключевого поля абоненту.

В настоящей работе рассматривается способ изменения значений этих параметров и их влияние на показатели времени синтеза схем и количество ключевой информации, распределяемой каждому абоненту, исследуются комбинации различных параметров, с помощью экспериментов по синтезу НАКDP-схем.

Литература

1. **Фролов А.Б., Щуров И.И.** Защищенные коммуникации при нецентрализованном предварительном распределении ключей // Вестник МЭИ. 2008. №4. С. 102–110.
2. **Dyer M., Fenner T., Frieze A., Thomason A.** On key storage in secure networks. Journal of Cryptology. 1995. V. 8. P. 189 — 200.
3. **Щуров И.И., Панкин А.В.** Программное обеспечение схем предварительного распределения ключей с хешированием // Труды XVII научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». Т. 1. М., 20 — 22 октября 2008. С. 257 — 263.

А.Г. Калинин, асп.; рук. Ю.А. Горицкий, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

В работе [1] описан подход к решению проблем безопасности дорожного движения, основанный на создании системы, которая вмешивается в управление автомобилем при возникновении опасной ситуации и при отсутствии реакции водителя на эту ситуацию.

В данной работе приводится обзор существующих подходов к безопасности автомобильного движения [2]. Проводится анализ существующих видов сенсоров и определение оптимального состава системы локаторов, которую необходимо установить на автомобиль для получения измерений с допустимой точностью, с учетом требований к измерительной системе описанных в [1].

Реализовано сглаживание параметров объектов, основанное на алгоритме фильтра Калмана [3], и проанализирована эффективность данного подхода применительно к автомобильному движению. Разработаны алгоритмы управления автомобилем, включающиеся в момент возникновения аварийной ситуации [4]. Реализована, программа, моделирующая противоаварийную систему. Данная программа используется для имитации различных дорожных ситуаций, с целью оценки эффективности алгоритмов управления.

Литература

1. **Моделирование** системы автомобильного движения с повышенной безопасностью» / Ю.С. Бражникова, Ю.А. Горицкий, А.Г. Калинин и др. // Труды XVIII Международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». М., 2010. Т. 1. С. 224—232.

2. **Panagiotis Lytrivis, George Thomaidis, Manolis Tsogas and Angelos Amditis**, «An Advanced Cooperative Path Prediction Algorithm for Safety Applications in Vehicular Networks», IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 12, no. 3, Sep. 2011. P. 669—679.

3. **Кузьмин С.З.** Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Советское радио, 1974.

4. **Калинин А.Г.** Алгоритм управления автомобилем для системы движения с повышенной безопасностью // Труды XIX научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». М., 2011. Т. 3. С. 224—228.

*Е.Ю. Корнюшина, студ.; рук С.Е. Степанов, к.ф.-м.н., доц.
(Филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана в г. Калуге)*

РАСПОЗНАВАНИЕ СИГНАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ ШУМ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В последнее время начали использоваться методы обработки данных основанные на вейвлетах. Вейвлет-преобразование позволяет судить не только о частотном спектре сигнала, но также о том, в какой момент времени появилась та или иная гармоника [1].

Основной целью работы является распознавание сигналов при наличии помех («шумов») с использованием вейвлет-преобразования.

Актуальность проблемы заключается в том, что практически любой сигнал содержит помехи из-за погрешностей измерительной аппаратуры; помех при передаче по каналам связи и т.д.

Представленный метод является относительно новым, и границы применения данного метода до сих пор не определены. В настоящее время существует большое количество теоретических работ и вейвлет-преобразование находит все больше и больше областей для применения.

В данной работе проведен вычислительный эксперимент, в ходе которого планировалось выявить возможности распознавания сигнала, содержащего белый шум.

В качестве образцов сигнала были взяты круговой и треугольный сигнал одинаковой амплитуды.

В качестве экспериментального сигнала был взят треугольный сигнал той же амплитуды, но содержащий шум.

В ходе вычислительного эксперимента было выявлено соотношение «сигнал/шум», при котором сигналы стали статистически неразличимы [2].

На сегодняшний момент вейвлет-преобразование завоевывает все большую популярность, что дает широкое поле деятельности в практической реализации вейвлет-преобразования.

Результаты работы носят как теоретический, так и практический характер. Они могут быть использованы при решении таких практических задач, как очистка от шума различных сигналов, для последующего распознавания, например, в дактилоскопии, анализе результатов ЭКГ и многом другом.

Литература

1. **Смоленцев Н.К.** Основные теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 2005.
2. **Петров В.И., Степанов С.Е., Степович М.А.** Оптимизация измерений, обработки, хранения и восстановления данных при неполной статистической информации. Приложение к изучению спектров катодоллюминесценции // 1991. Т.63. № 7.

М.А. Крыгин, асп.; рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СЛОИСТЫХ СРЕДАХ

Ищется в пространстве R^3 распределение интенсивности излучения в материале, состоящем из плоскопараллельных слоев вещества. Слои состоят из однородной поглощающей рассеивающей среды с коэффициентом поглощения k , коэффициентом рассеяния s и показателем преломления n . В качестве внешней среды предполагается вакуум. Излучение на границах слоев отражается и преломляется по законам геометрической оптики в соответствии с законами Френеля [1]. Распространение излучения внутри слоев вещества предполагается подчиняющимся уравнению переноса излучения [2]. Излучение, падающее извне материала, имеет специальный вид, что вкупе с радиальной симметрией материала приводит к радиальной симметрией всей задачи и ее фактической одномерности.

Разработаны два алгоритма, основанных на методе Монте-Карло. Общий трехмерный алгоритм может быть применен для решения более широкого класса задач, однако его быстродействие недостаточно. Специализированный алгоритм, учитывающий радиальную симметрию задачи, работает значительно быстрее. Все алгоритмы реализованы на языке программирования C++.

Проведено изучение зависимости общих коэффициентов пропускания и отражения материала от его параметров: количества слоев вещества в материале, их толщины, показателя преломления, коэффициентов рассеяния и поглощения. Также изучена зависимость и от параметров падающего излучения.

По результатам численных экспериментов установлено, что наличие границ раздела сред внутри материала и параметры падающего излучения существенно влияют на характер проникновения излучения. Увеличение количества слоев резко увеличивает общий коэффициент отражения материала, уменьшает коэффициент пропускания и эффективную глубину проникновения излучения в материал.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение 14.В37.21.0864) и Совета по грантам при Президенте РФ (проект НШ - 2033. 2012.1).

Литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973.
2. Гермогорова Т.А. Локальные свойства решений уравнения переноса. М.: Наука, 1986.

*Т.В. Ларина, студ.; рук. С.Е. Степанов к.ф.-м.н., доц.
(Филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана в г. Калуге)*

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Множество практических задач решается на основе приближенной информации об измеряемом объекте. Это связано со многими причинами: погрешностью измерений, ошибками при передаче данных и т.п. При наличии полной информации об измеряемом сигнале процесс измерения, обработки, хранения и восстановления экспериментальных данных уже хорошо изучен и существует множество методов их обработки. Иная ситуация может возникнуть при неполной информации об измеряемом сигнале [1].

Рассмотрим один из методов обработки экспериментальных данных при наличии информации об объекте. Он основан на использовании разделения сигнала на аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты для восстановления сигнала и подавление ошибок измерения [2].

Объектами исследования являются симметричные круговой и треугольный сигналы, информация которых представлена неполно.

Алгоритм обработки информации можно представить в следующем виде.

Этап 1. (Построение исследуемого сигнала.) На этом этапе осуществляется расчет соответствующих вейвлет-коэффициентов для так называемых базисных функций.

Этап 2. (Разложение сигнала.) На этом этапе осуществляется разложение измеряемого сигнала.

Этап 3. (Устранение ошибок измерения.) На этом этапе происходит соотношение вейвлет-коэффициентов измеряемого сигнала и вейвлет-коэффициентов базисной функции.

Этап 4. (Сравнение.) На этом этапе осуществляется выбор и построение сигнала.

Предложен метод обработки экспериментальных данных при неполной информации, основанный на вейвлет-преобразовании. Он эффективно позволяет устранять случайные погрешности измерения, а его реализация не требует проведения сложных вычислений.

Литература

1. **Петров В.И., Степанов С.Е., Степович М.А.** Оптимизация измерений, обработки, хранения и восстановления данных при неполной статистической информации // Приложение к изучению спектров катодоллюминесценции. 1991. Т.63. №7.
2. **Смоленцев Н.К.** Основные теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 2005.

С.А. Лукин, студ.; рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ДВУХ СПОСОБОВ ИНВЕРТИРОВАНИЯ В ГАУССОВЫХ НОРМАЛЬНЫХ БАЗИСАХ

Изучаются следующие два метода инвертирования в гауссовых нормальных базисах (ГНБ) [1—3].

По первому методу исходное представление элемента поля $GF(2^n)$ в ГНБ k -го типа отображается в кольцо $GF(2)[X]_{f_{kn}}$ по модулю кругового многочлена f_{kn} . В этом кольце осуществляется инвертирование с использованием полуинверсного алгоритма обращения [2, 4]. Результат отображается в поле $GF(2^n)$.

Пример. Пусть $n = 5$, $k = 2$, $f(X) = 1 + X + \dots + X^{10} = 1111111111$, $x = (1000)$ представление элемента в ГНБ. Его представление в почти стандартном базисе кольца $GF(2)[X]_{f_{kn}}$: (01000000001) . $(0100000001)^{-1} = (01100110011)$. Представление в ГНБ: (11001) .

Второй метод основан на использовании полуинверсного алгоритма Евклида [4] в кольце $GF(2^n)$ с использованием стандартного базиса [2].

Пример. Пусть $n = 5$, $k = 2$, $f(X) = 1 + X + X^2 + X^4 + X^5$. $x = (1000)$ — представление элемента в ГНБ. В стандартном базисе поля $GF(2^5)$ $x = (0100)$, $(0100)^{-1} = (11011)$. Представление в ГНБ: (11001) .

Обращение в поле $GF(2^{191})$ на компьютере с процессором Intel® Core™ i5 с тактовой частотой 2,4 GHz по первому алгоритму осуществляется в среднем за 184 мкс (432 тика), а по второму за 78 мкс (184 тика).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 01-11-0782а.

Литература

1. Болотов А.А., Гашков С.Б. О быстром умножении в нормальных базисах конечных полей // Дискретная математика. Т.13. 2001. № 3. С. 3—31.
2. Болотов А.А., Гашков С.Б., Фролов А.Б., Часовских А.А. Элементарное введение в эллиптическую криптографию. Алгебраические и алгоритмические основы. 2-е изд. доп. М.: КомКнига, 2012.
3. Гашков С.Б., Лукин С.А., Суханова О.К., Фролов А.Б. О реализации алгоритмов умножения и обращения в гауссовых нормальных базисах // В кн. Труды XX международной научно-технической конференции «информационные средства и технологии». Т.1. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. С. 147—154.
4. Гашков С.Б., Фролов А.Б., Шилкин С.О. О некоторых алгоритмах инвертирования и деления // Вестник МЭИ. 2006. № 6. С. 20—31.

Д.А. Маслов, студ.; рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

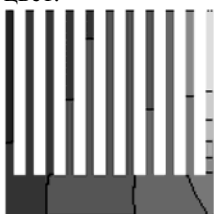
ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ СТАЦИОНАРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА В ПЛАСТИНЕ С ИЗЛУЧЕНИЕМ

Рассматривается стационарное распределение тепла при наличии излучения между зубцами, описываемое краевой задачей:

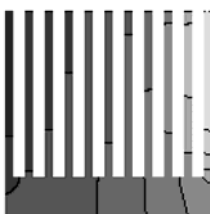
$$\begin{cases} -k\Delta u(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x}), & \mathbf{x} \in G; \\ k \frac{\partial u}{\partial n}(\mathbf{x}) + h(u(\mathbf{x})) = g(\mathbf{x}), & \mathbf{x} \in \partial_{out}G; \\ k \frac{\partial u}{\partial n}(\mathbf{x}) + h(u(\mathbf{x})) = \int_{\Gamma} h(u(\mathbf{x}))\varphi(\xi, \mathbf{x})dl(\xi), & \mathbf{x} \in \partial_{in}G. \end{cases} \quad (1)$$

Искомой функцией является абсолютная температура $u(\mathbf{x})$, $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$; k — коэффициент теплопроводности; $f(\mathbf{x})$ — функция источников тепла; $h(u(\mathbf{x})) = \sigma|u(\mathbf{x})|^3$ — плотность потока теплового излучения по закону Стефана—Больцмана; $g(\mathbf{x})$ — функция, заданная на $\partial_{out}G$ — границе области, излучение тепла с которой не поглощается пластиной; $\partial_{in}G$ — граница пластины, излучение тепла с которой частично ей поглощается. В [1] функция $\varphi(\xi, \mathbf{x}) = \frac{\cos\alpha \cdot \cos\beta}{2|x - \xi|}$, где α — угол между падающим в точку \mathbf{x} лучом и нормалью в точке \mathbf{x} к пластине; β — угол между испускаемым из точки ξ лучом и нормалью к поверхности излучения Γ . Для численного решения задачи (1) используется метод Рунге.

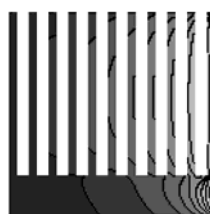
На рисунке приведен пример с нагревом излучением правой стороны пластины для разных материалов. Низкой температуре соответствует темный цвет.



алюминий $k = 230$



сталь $k = 52$



эбонит $k = 0,16$

Литература

1. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. М.: Мир, 1975.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ ВБЛИЗИ ТОЧЕК ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Рассматривается система уравнений газовой динамики, которая в эйлеровых координатах имеет вид

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} &= 0, \\ \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u^2 + P) &= 0, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon u + P u) &= 0.\end{aligned}\tag{1}$$

Система рассматривается в прямоугольнике $(x, t) \in (0, L) \times (0, T)$ и дополняется необходимыми начальными и граничными значениями искоемых величин.

Искомыми являются плотность $\rho(x, t)$, скорость $u(x, t)$ и удельная внутренняя энергия $\varepsilon(x, t)$. Для замыкания системы (1) требуется добавлять уравнение состояния $P = P(\rho, \varepsilon)$.

Поскольку одни и те же уравнения (1) описывают динамику как жидкости, так и газа, то было бы заманчиво использовать их для описания движения двухфазной среды без явного выделения фаз. Один из способов сделать это — использовать уравнения состояния специального вида (простейший пример — уравнение Ван-дер-Ваальса).

Однако такие уравнения состояния не всегда хорошо соответствуют экспериментальным данным, поэтому определенный интерес представляет использование таблиц теплофизических свойств вместо аналитических зависимостей.

В данной работе изучались возможности схемы КИР численного решения поставленной задачи [1] при использовании таких нестандартных уравнений состояния.

Литература

1. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. М.: Физматлит, 2001.

*А.Е. Мисник, асп.; рук. В.В. Борисов, д.т.н., проф.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

КОМБИНИРОВАННЫЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СПОСОБ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ограниченность возможностей экспериментального исследования сложных систем делает актуальной разработку методики их моделирования. Зачастую человек не в состоянии охватить всевозможные комбинации событий и явлений процесса функционирования таких систем, и создание общей модели практически неразрешимо [1].

Предложен комбинированный нейросетевой способ моделирования сложных технических систем.

1. Выделение типовых структурных элементов системы, определение их параметров и взаимосвязей.

2. Построение графа или графической формы функциональной модели системы.

3. Построение матрицы инцидентий системы.

4. Построение системы уравнений на основе матрицы инцидентий [2].

5. Получение решений системы уравнений в различных начальных условиях.

6. Разработка типизированных нейросетевых модулей для структурных элементов системы.

7. Обучение нейросетевых модулей на основе решений системы уравнений и начальных условий.

8. Дообучение типизированных нейросетевых модулей с помощью информации о реально функционирующем объекте.

9. Объединение модулей в единую модель системы.

10. Формирование нейросетевого супервизора для идентификации возможных ошибок в соединениях нейросетевых элементов и его обучение.

Данный способ был реализован при моделировании участков теплосети г. Могилева, которая является характерным примером сложной технической системы [3].

Литература

1. **Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С.** Нечеткие модели и сети. — М.: Горячая линия—Телеком, 2007. — 284 с.

2. **Тарасик В.П.** Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов. — Минск: ДизайнПРО, 2004. — 640 с.

3. **Борисов В.В., Мисник А.Е.** Иерархическая нейросетевая модель систем теплоснабжения // Энергетика, Информатика, Инновации-2011 — ЭИИ-2011. Сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф. Т.2. М., 2011.

Т.И. Морозова, В.А. Бредихин, студенты; рук. А. Ю. Пучков, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)

РАСЧЕТ СРОКА ОКУПАЕМОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Оценка срока окупаемости инвестиционных проектов — один из важнейших этапов составления бизнес-плана. Предлагается алгоритм решения данной задачи, основанный на применении модели процесса функционирования фирмы и реализованный на языке имитационного моделирования GPSS.

Отличительная черта организаций, предоставляющих оборудование в прокат, — наличие большого числа случайных факторов, непосредственно влияющих на их эффективность. Учитывая эти отличия, объект описывался в терминах теории массового обслуживания.

Критерием эффективности выступает срок окупаемости средств, затраченных на приобретение и поддержание в исправном состоянии оборудования, выставляемого на прокат.

Авторами была разработана программа, позволяющая отразить наличие нескольких видов прокатного оборудования, для каждого вида оборудования учесть случайный характер потоков клиентов, времени и стоимости проката оборудования, стоимости ремонта. Учитывая все эти случайные факторы, рассчитывается ожидаемое время, через которое окупится стоимость приобретенного в прокате оборудования.

Программа была применена для расчета срока окупаемости частного предприятия, занимающегося прокатом велосипедов. Входными данными для программы являются: n — количество видов оборудования, предоставляемого для проката; количество оборудования i -го вида, $i = 1 \dots n$; стоимость единицы оборудования i -го вида; функция, задающая стоимость норма/часа ремонта оборудования i -го вида; функция, задающая среднее время ремонта оборудования различного вида; функция, определяющая стоимость одного часа проката различного вида оборудования; функция, моделирующая длительность проката клиентом.

Выходные данные: срок окупаемости в количестве периодов моделирования; суммарное время проката за период; стоимость всех прокатов за период с учетом ремонта; общее время простоя оборудования.

Результаты работы программы представляются в виде стандартного отчета GPSS, а сама программа организована так, что длительность срока окупаемости, после проведения расчетов, сохраняется в ячейке памяти и отражается в соответствующем разделе отчета.

Данная программа, после соответствующей адаптации, может быть использована для решения поставленной задачи в любых организациях, занимающихся прокатом оборудования любого типа.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИНОМОВ, СОХРАНЯЮЩИХ НЕКОТОРЫЕ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ НА ЧИСЛОВЫХ МНОЖЕСТВАХ

В настоящей работе мы продолжаем изучение функциональных систем $P(A)$ полиномов с коэффициентами из фиксированного множества A и их замкнутых классов. Рассмотрены следующие виды эквивалентностей:

1. Отношение $D_{k,l}$ на N_0 , разбивает множество N_0 на классы эквивалентностей следующим образом:

$$N_0 = \{0, 1, \dots, l-1\} \cup \bigcup_{m \in N_0} \{l + km, \dots, l + km + k - 1\}.$$
 Определен состав класса

сохранения этого разбиения для $P(N_0)$ и базис этого класса.

2. Отношение $D_{k,l}$ на $A = Z, Q$, разбивает множество Z на классы эквивалентностей следующим образом: $A = \bigcup_{m \in Z} \{(k-1)m \leq x < km\}$. Определен

состав класса сохранения этого разбиения для $P(Z)$ и базис этого класса. Определен состав класса сохранения этого разбиения для $P(Q)$.

3. Отношение J_m на множествах $A = Z, Q, R, C$, где $m \in A$, разбивает множество A на два класса: $\{m\}$ и $\{a \in A, a \neq m\}$. Определены составы классов сохранения этого разбиения для $L(A)$ при $A = Z, Q, R, C$. Отношение I_m на множестве Z разбивает Z на два класса: $\{\pm m\}$ и $\{a \in A, a \neq \pm m\}$. Определен состав класса сохранения этого разбиения для $L(A)$. Отношение K_m на множестве Z разбивает Z на три класса: $\{a \in A, a \neq \pm m\}$, $\{m\}$ и $\{-m\}$. Определен состав класса сохранения этого разбиения для $L(A)$. Найдены отношения включения между этими тремя классами.

4. Отношение равенства модуля на множествах $A = Z, Q, R$: $x \sim y$, если $|x| = |y|$. Найдены некоторые условия принадлежности этому классу для $P(A)$ при $A = Z, Q, R$.

5. Отношение S_m на множестве $A = N_0, Z, Q, R$ разбивает A на два класса: $\{x < m\}$ и $\{x \geq m\}$. Определен состав класса сохранения этого разбиения для $P(N_0)$ и $L(A)$ при $A = Z, Q, R$. Для случая $L(Z)$ решена обратная задача.

К.С. Осипов, студ.; рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННО-КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СЕРЫХ ЭКРАНОВ, РАЗДЕЛЕННЫХ ГАЗОВЫМИ ПРОСЛОЙКАМИ

Рассматривается задача радиационно-кондуктивного теплообмена в системе, состоящей из N параллельных тонких металлических пластин (экранов), разделенных газовыми прослойками. Искомой величиной является абсолютная температура $u = u(x, t)$. Ее начальное распределение $u^0(x)$, а также температуры $u_\ell(t)$ и $u_r(t)$ окружающей среды слева и справа от системы заданы.

Распространение тепла описывается уравнением теплопроводности, принимающим различные параметры в металле и газе.

Каждая пластина обменивается тепловой энергией с соседней пластиной посредством излучения и с соседней прослойкой газа — посредством теплообмена контактом. На краях системы происходит теплообмен излучением с окружающей средой. Каждая из газовых прослоек на краях обменивается теплом только с соседними пластинами металла.

Для решения этой задачи построены специальные приближенные полудискретные и асимптотические методы. Разработаны численные реализации этих методов, проведены вычислительные эксперименты. Рассматривается зависимость их погрешности от параметров задачи, в особенности от толщины пластин и прослоек.

Для аналогичной задачи радиационно-кондуктивного теплообмена в системе экранов, разделенных вакуумными прослойками, соответствующие методы построены и исследованы в [1—3].

Литература

1. **Амосов А.А., Гулин В.В.** Полудискретные и асимптотические аппроксимации задачи переноса тепла в системе серых экранов при наличии излучения // Вестник МЭИ, 2008. № 6.
2. **Амосов А.А.** Нестационарная задача радиационно-кондуктивного теплообмена в периодической системе серых экранов // Проблемы математического анализа. 2010. Вып. 47. С. 3—42.
3. **Амосов А.А.** Полудискретные и асимптотические приближения для нестационарной задачи радиационно-кондуктивного теплообмена в периодической системе серых экранов // Проблемы математического анализа. 2011. Вып. 47. С. 3—44.

Д.С. Смоляков, асп.; рук. Ю.А. Горицкий, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИБЛИЖЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ КУСОЧНО-ПОСТОЯННЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Процедура дискретизации и восстановления (ПДВ) кусочно-постоянных случайных процессов была рассмотрена в работе [1], но полученное решение оказалось весьма сложным в реализации, и в [2] было предложено логически простое решение задачи для произвольных гладких времен пребывания. Процедура основывалась на рекуррентном пересчете моментов точки переключения (1):

$$m_q(n, f) = \sum_{s=0}^{\infty} H_{qs} m_s(p, n), \quad q \geq 0, \quad (1)$$

где $m_a(j, k)$ — момент порядка q перехода из состояния j в k ,

$$H_{qs}(n, f; \theta, T_n) = \frac{(-1)^s}{s!} \int_0^{T_n} t^q f_n^{(s)}(\theta + t) R_f(T_n - t) dt, \quad (2)$$

θ — время пребывания в состоянии, T_n — интервал предыдущего перехода.

При практической реализации процедуры можно ограничиваться конечным числом моментов, т.е. фактически использовать приближенную ПДВ, точность которой зависит от количества используемых моментов. При ограничении малым числом моментов возникают ошибки приближения и вопрос оценки качества аппроксимации.

В настоящем докладе развивается описанный в [2] подход: выводится уравнение для интервала дискретизации, описываются приближенные процедуры, оценивается их качество. Выписаны простые формулы для распределений с плотностями в виде линейной комбинации экспонент (3):

$$E_N(t | \lambda) = \sum_{i=1}^N a_i E(t, \lambda_i) = \sum_{i=1}^N a_i \lambda_i e^{-\lambda_i t}. \quad (3)$$

Показана зависимость основных характеристик процедуры (интервала дискретизации, математического ожидания и дисперсии точки переключения) от количества используемых моментов пересчета. Приведены расчетные примеры.

Литература

1. Горицкий Ю.А., Казаков В.А. Процедура дискретизации случайных процессов с ограниченным последствием // Вестник МЭИ. 2006. № 6. С. 12—17.
2. Горицкий Ю.А., Казаков В.А., Смоляков Д.С. Дискретизация реализаций случайных процессов с конечным числом состояний и гладкими распределениями времен пребывания // Сборник трудов 2-го научного семинара, посвященного памяти З.М. Бененсона. ВЦРАН. 2012. С. 23—31.

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ CUDA

Использование графических процессоров для массивных вычислений в последнее время становится все более актуальным. Предложенная компанией NVIDIA технология CUDA [1] автоматически манипулирует нитями и потоками, распределяет память, а программный код пишется на расширенном языке C, что сильно упрощает написание программ.

Но зачастую сложно использовать всю вычислительную мощь графических процессоров. Это может быть связано не только с плохим распараллеливанием метода, но и со своеобразием архитектуры, созданной изначально для расчета графики. Существует несколько способов по оптимизации кода [1, 2] для увеличения эффективности приложения.

- Подбор оптимального для данного приложения числа нитей/блоков.
- Использование разделяемой памяти.
- Использование текстурной памяти.
- Использование потоков.
- Использование атомарных операций.
- Замена стандартных функций ускоренными аналогами, обладающими меньшей точностью.
- Выравнивание блоков памяти.

Так как графический процессор работает с большими массивами данных, то главную роль играют методы для ускорения доступа к памяти. Поэтому первостепенный интерес представляют выравнивание блоков памяти и использование разделяемой памяти, которые могут в десятки раз ускорить выполнение программ.

Данные способы оптимизации были протестированы на простейшем примере скалярного произведения. В результате метод был ускорен в 3 раза.

Литература

1. **Боресков А.В., Харламов А.А.** Основы работы с технологией CUDA. М.: ДМК Пресс, 2011.
2. **Сандрес Дж., Кэндрот Э.** Технология CUDA в примерах: Введение в программирование графических процессоров. М.: ДМК Пресс, 2011.

М.Г. Шумаров, асп.; рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО В ПОРОШКОВЫХ СРЕДАХ

Ищется в пространстве R^3 распределение интенсивности излучения в порошковом слое. Предполагается, что порошок состоит из сферических частиц. Частицы состоят из однородной поглощающей рассеивающей среды с коэффициентом экстинкции β , коэффициентом альбеда λ и показателем преломления n . Внешняя среда, в которой находится порошок, также является однородной поглощающей рассеивающей средой с аналогичными параметрами: β_e , λ_e и n_e . Излучение на поверхности частиц отражается и преломляется по законам геометрической оптики в соответствии с законами Френеля [1].

Предложен алгоритм, основанный на методе Монте-Карло. Для реализации алгоритма написан программный комплекс, позволяющий проводить численные эксперименты с использованием многопроцессорных машин, в том числе кластера МЭИ.

Проведено изучение зависимости коэффициентов пропускания и отражения от способа упаковки порошка и от типа падающего излучения (коллимированного или диффузного (рис. 1)). Рассматривались простая кубическая упаковка, плотнейшая гексагональная и плотнейшая кубическая упаковки [2]. Проведено также изучение влияния изменения радиуса частиц на распределение излучения при постоянной толщине слоя.

По результатам численных экспериментов установлено, что тип упаковки и падающего излучения существенно влияют на характер проникновения излучения. Изменение радиуса частиц порошка с сохранением толщины слоя увеличивает поглощательные свойства слоя порошка.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам при Президенте РФ (грант НШ - 2033.2012.1) и Министерства образования и науки РФ (соглашение № 14.В37.21.0864).

Литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973.
2. Шаскольская М.П. Кристаллография. М.: Высшая школа, 1984.

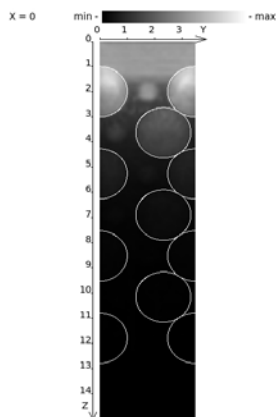


Рис. 1. Распределение диффузного внешнего излучения в слое порошка

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

*Председатель секции — зав. каф. ПМ, д.т.н., доцент А.П. Еремеев
Секретарь секции — к.т.н., доцент П.Р. Варшавский*

Р.В. Алехин, студ.; рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

На сегодняшний день для решения актуальной в области искусственного интеллекта задачи моделирования человеческих рассуждений активно применяются методы рассуждений на основе аналогий и прецедентов (CBR — Case Based Reasoning) [1].

Рассуждение на основе прецедентов позволяет адаптировать решение известной задачи к решению новой подобной задачи. Этот подход позволяет упростить процесс поиска решения в нестандартных ситуациях для малоизученных предметных областей при наличии жестких временных ограничений и неопределенности в исходных данных и знаниях.

Извлечение прецедентов является одним из этапов CBR, который заключается в выборе прецедентов подобных текущей ситуации. Выбор метода извлечения тесно связан с методом представления. Для большинства задач достаточно простого параметрического представления прецедента и использования метода ближайшего соседа. Однако в ряде случаев параметрического представления бывает недостаточно из-за сложности учета зависимостей между параметрами. В работе предлагается в качестве модели представления и хранения прецедентов использовать онтологию предметной области [2], что позволит задавать сложную структуру прецедента [3]. Сходство текущей проблемной ситуации и прецедента предлагается определять с использованием двух оценок: оценки сходства по структуре с использованием онтологии предметной области и оценки близости параметров прецедента и текущей ситуации с помощью метода ближайшего соседа.

В результате работы была выполнена программная реализация прототипа CBR-системы в среде MS Visual Studio 2010 на языке C# и проведено ее тестирование с помощью онтологии из репозитория NCBO BioPortal и данных из хранилища UCI Machine Learning Repository.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 11-01-00140-а, № 12-07-00508-а).

Литература

1. **Варшавский П.Р., Еремеев А.П.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45—47.

2. **Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.** Базы знаний интеллектуальных систем: учебник. СПб.: Изд-во «Питер», 2001.

3. **Алехин Р.В.** Использование языка OWL для формирования онтологий предметной области // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. XVII Международ. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тезисы докладов в 3 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. С. 353—354.

Аркар Мью, асп.; рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ

В настоящее время в области искусственного интеллекта актуальной задачей является исследование и разработка методов интеллектуального анализ данных (ИАД) [1] и соответствующих программных средств. Методы ИАД активно применяются в бизнес-приложениях, системах машинного обучения, системах электронного документооборота и др.

В ИАД для извлечения новых знаний из баз фактов применяются различные методы [2]: статистические и индуктивные процедуры, генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети, деревья решений, кластерный анализ, прецедентные методы (CBR-методы) и др.

В работе основное внимание уделяется методам ИАД для решения задач классификации и кластеризации (сегментации).

Для классификации могут использоваться различные методы: классификация с помощью деревьев решений; байесовская (наивная) классификация; классификация при помощи искусственных нейронных сетей; классификация методом опорных векторов; статистические методы, в частности, линейная регрессия; классификация методом ближайшего соседа; классификация при помощи генетических алгоритмов.

Задача кластеризации сходна с задачей классификации, является ее логическим продолжением, но ее отличие в том, что классы изучаемого набора данных заранее не predetermined. В результате применения различных методов кластерного анализа могут быть получены кластеры различной формы. Кроме того, некоторые методы кластерного анализа особенно чувствительны к шумам или выбросам в исходных данных.

В ходе работы были рассмотрены различные методы решения задач классификации и кластеризации данных и для решения указанных задач предложено использовать CBR-методы. Исследованы возможности платформы Microsoft SQL Server 2008 по организации ИАД и, в частности, алгоритмы кластеризации, а также выполнена программная реализация базовых модулей в среде SQL Server Management Studio, Microsoft SQL Server Analysis Services под ОС Windows.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-07-00508-а).

Литература

1. **Финн В.К.** Об интеллектуальном анализе данных // Новости искусственного интеллекта. 2004. №3. С. 3—19.
2. **Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И.** Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. — 2-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007.

ЗАДАНИЕ ЧАСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЛОГИКИ ДВИЖЕНИЯ СО СРЕДСТВАМИ ДЛЯ СПЕЦИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТОВ

В теории интеллектуальных информационных систем, есть много работ, посвященных обсуждению прогнозирования и проектирования систем для анализа движения объектов в пространстве и времени. В логике движения представим план перемещения движущихся объектов, а также прогноз местоположения. Эти представления важны для многих приложений (управление воздушным движением, планирования тактических военных целей и т.д.). В логике движения, в ее изначальном виде, объекты не имеют структуры, это означает, что на самом деле они являются материальными точками. Но многие задачи требуют представления структуры объекта и манипулирования с этой структурой. Как правило, структура объекта определяется его отношениями с другими объектами, отношениями их компонентов и атрибутов. Эти возможности реализуемы в языках фреймового типа. В данной работе за основу взята логика, введенная в работе [1]. Программно реализован алгоритм выполнимости логики движения. Алгоритм выполнимости построен на основе построения графа достижимости, который должен быть корректен для выполнимости логики движения. Программно реализованы алгоритмы анализа основных термов логики движения. Основными термами являются термы (1)—(3):

$$\text{go}(o, x_1, y_1, x_2, y_2, t_1^-, t_1^+, t_2^-, t_2^+, v^-, v^+), \quad (1)$$

$$\text{in}(o, x_1, y_1, x_2, y_2, t_1, t_2), \quad (2)$$

$$\text{near}(o_1, o_2, d, t_1, t_2), \quad (3)$$

где o, o_1, o_2 — объектные термы, $t_1, t_2, d, t_1^-, t_1^+, t_2^-, t_2^+, v^-, v^+$ — положительные вещественные термы; x_1, y_1, x_2, y_2 — вещественные термы.

При разбиении терма с помощью бинарной модели знаний [2] возможна работа с отдельными элементами этого терма. Разработка программных модулей была осуществлена на языке MS Visual C# 3.0 под операционную систему Windows XP/Vista на платформе MS.NET 3.5.

Литература

1. Yaman F., Subrahmanian V.S. Going Far, Logically // Proc. 2005 International Joint Conference on Artificial Intelligence, Edinburgh, Scotland, Aug 2—5, 2005. 59 с.

2. Плесневич Г.С. Бинарные модели знаний // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: Сборник трудов III-го Международного научно-практического семинара (Коломна, 15—17 мая 2005 г.). М.: Физматлит, 2005. 163 с.

О.В. Грачева, студ.; рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НОВОСТНЫХ СВОДОК НА ОСНОВЕ ПРОФИЛЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И ОНТОЛОГИИ

В настоящее время существует большое количество новостных сайтов. Не запутаться в этом многообразии и при этом не упустить интересные для человека новости представляется непростой проблемой.

В данной работе поставлена следующая актуальная на сегодня задача разработки такого веб-приложения, которое не только собирает новости с разнообразных новостных сайтов, но и позволяет пользователю настраивать свой профиль и выбирать, какие рубрики его интересуют, а какие нет. В результате все самые интересные новости с различных сайтов собираются на одной странице.

Веб-приложение построено с использованием мультиагентного подхода [1], что позволило спроектировать систему как набор самостоятельных модулей, взаимодействующих между собой. Применение такого подхода при организации системы обеспечивает надежность, удобство отладки и легкость расширения проекта.

В работе рассматривается создание мультиагентной системы для формирования новостных сводок на основе профилей пользователей и онтологического представления знаний о предметной области [2]. Проводится анализ современных мультиагентных технологий [3], а также средств веб-разработки. Формируется модель разрабатываемой системы и на ее основе создается сайт новостей.

Была произведена экспериментальная оценка работы веб-приложения и проведено сравнение с существующими аналогами. В ходе сравнения были выявлены преимущества и недостатки разработанной системы. Преимуществом является возможность гибкой настройки пользователем своего профиля, что приводит к персонализации новостей. К недостаткам относится отсутствие объединения похожих новостей, полученных с различных сайтов, в группу, называемую «сюжет».

Литература

1. **Wooldridge M.** An Introduction to MultiAgent Systems. John Wiley & Sons, 2002.
2. **Башмаков А.И., Башмаков И.А.** Интеллектуальные информационные технологии. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005.
3. **Тарасов В.Б.** От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002. — 352 с.

Д.С. Зарецкий, асп.; рук. В.Н. Вагин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ИСТИННОСТИ НА ОСНОВЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ЛОГИКИ ПРЕДИКАТОВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Система поддержки истинности, основанная на предположениях (Assumption-based Truth Maintenance System — ATMS) является мощным инструментом, используемым для поддержки логического вывода [1, 2].

Благодаря своим характеристикам ATMS отлично зарекомендовала себя как система поддержки логического вывода систем диагностики сложных комбинационных систем [3], однако классический алгоритм ATMS построен на основе логики высказываний, что не позволяет в полной мере использовать его в системах, использующих в своем описании логику предикатов первого порядка.

Негативной характеристикой работы алгоритма ATMS является объем базы правил. Логика высказываний требует наличие уникального правила для связи состояния одного элемента и состояния другого. Использование логики предикатов помогает снизить критичность этой проблемы.

Несмотря на то, что ATMS позиционирует себя как система, поддерживающая вывод в пропозициональной логике [1, 3, 4], ATMS — не является системой логического вывода, ATMS — надстройка над выводом, позволяющая делать предположения, анализировать поступаемые противоречия и определять истинность или ложность предположений.

В ходе исследования был разработан подход, позволяющий адаптировать классический алгоритм ATMS к использованию его в системах, основанных на логике предикатов первого порядка, что позволило существенно сократить объем базы логических правил, а также снизить зависимость ATMS от логики, на основе которой строиться логический вывод.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-07-00038-а).

Литература

1. **Kenneth D. Forbus, Johan de Kleer.** Building Problem Solvers. MIT Press, 1993: 702 p.

2. **Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В.** Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / под ред. В.Н. Вагина и Д.А. Поспелова. М.: Физматлит, 2008. — 714 с.

3. **Вагин В.Н., Зарецкий Д.С.** Система поддержки истинности на основе предположений в задачах диагностики с использованием модели устройств // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «АИС-IT'10». М.: Физматлит, 2010. С. 351—362.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОИСКА НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫХ СИСТЕМАХ

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к интеллектуализации информационных систем и, в частности, информационно-поисковых систем (ИПС), ориентированных на решение задач поиска информации в сети Internet. Сегодня крупные компании на рынке поисковых систем Internet активно внедряют различные сервисы и инструменты персонализации и интеллектуализации поиска, которые позволяют устранить основные недостатки традиционного контекстного поиска по ключевым словам.

Для обеспечения персонализации и интеллектуализации поиска в работе предлагается использование распределенной мультиагентной среды, основными компонентами которой выступают взаимодействующие между собой мобильные (интеллектуальные) агенты [1]. Агенты могут функционировать как на серверной стороне ИПС, выполняя традиционные функции поисковой машины Internet, так и являться клиентским прикладным программным обеспечением.

Для реализации поиска в мультиагентной интеллектуальной ИПС и накопления информации о запросах и предпочтениях пользователей предлагается использовать технологию на основе прецедентов (Case-Based Reasoning, CBR) [2]. Наряду с обычными поисковыми агентами в систему вводятся специальные CBR-агенты, взаимодействующие между собой и занимающиеся поиском решения на базе локальных библиотек прецедентов с использованием стандартных алгоритмов вывода на основе прецедентов и CBR-цикла [2, 3].

Базируясь на предложенной в [3] архитектуре мультиагентной системы распределенного вывода на основе прецедентов реализованы базовые программные модули интеллектуальной ИПС в среде MS Visual Studio 2010 на языке C#.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-07-00508-а).

Литература

1. **Тарасов В.Б.** От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. — М.: Эдиториал УРСС, 2002. — 352 с.
2. **Варшавский П.Р., Еремеев А.П.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // РАН. Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45—57.
3. **Бредихин К.Н., Варшавский П.Р.** Архитектура системы распределенного вывода на основе прецедентов для интеллектуальных систем // Программные продукты и системы. 2011. № 1. С. 50—53.

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗНАНИЙ

В настоящее время экспертные системы широко используются в различных областях жизни человека. Они прочно утвердились в таких областях, как энергетика, медицина, промышленность [1]. В частности, экспертные системы могут быть использованы для автоматизации процесса психологического тестирования человека. Объектом исследования является решение задачи автоматизации процесса психологического тестирования с помощью экспертной системы, построенной на основе использования разработанного формата представления знаний и описания знаний о тестировании в данном формате. Предметом исследования являются экспертные системы, а также модели знаний экспертных систем.

Разрабатываемая экспертная система предназначена для исследования реакций человека на стрессовые ситуации. Решение поставленной задачи может быть получено двумя способами: на основе знаний, извлеченных из базы знаний экспертной системы; с помощью выполнения прямых вычислений по методике Розенцвейга.

В начале работы системы пользователь последовательно отвечает на предложенные вопросы тестирования. Затем система выполняет обработку полученных ответов. В первом случае программа осуществляет поиск в базе знаний правила, которое соответствует полученным ответам пользователя. В случае если указанное правило найдено, система выдает в качестве результата следствие данного правила. В противном случае активизируется механизм пополнения базы знаний [2]. По методу Розенцвейга система выполняет оценку ответов пользователя и формирует новое правило. Условием данного правила являются ответы пользователя, а следствием — результат, построенный по методике Розенцвейга. Новое правило добавляется в базу правил.

Разработанная экспертная система позволит автоматизировать процесс прохождения тестирования пользователем и ускорить обработку результатов теста за счет использования накопленных знаний.

Литература

1. **Искусственный интеллект.** В 3 кн. Кн. 2. Модели и методы: справочник / под ред. Д.А. Пospelова. — М.: Радио и связь, 1990. — 304 с.
2. **Вагин В.Н., Еремеев А.П.** Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Изв. РАН. ТлСУ. 2001. № 6. С. 114—123.

К.Х. Зыюнг, асп.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОМОЩИ ВЬЕТНАМСКИМ СТУДЕНТАМ В ОБУЧЕНИИ РУССКОМУ ЯЗЫКУ

Студенты из Вьетнама с большим трудом изучают русский язык на начальном этапе. В грамматике вьетнамского языка отсутствуют следующие разделы русского языка: падежи, виды глагола, глаголы движения и претеритные глаголы, дееспричастия, причастия, так как вьетнамские слова не изменяются по родам, лицам, числам и падежам. В вузах нет компьютерных программ, помогающим студентам самостоятельно изучать русский язык. В России создано большое количество компьютерных программ обучения русскому языку, но у них отсутствует функции подсказки. Поэтому задача изучения и создания системы обучения русскому языку для вьетнамских студентов с функцией интеллектуальной поддержки является актуальной [1].

Из перечисленных выше типичных расхождений между вьетнамским и русским языками, в предлагаемой системе основное внимание уделяется правилам грамматики о видах глагола. В учебнике несовершенный вид глагола обозначает следующие первоочередные значения [2]: обобщенное значение, многократность или однократность действия, процесс действия и т.д. Конкретное правило оформляется на естественном языке: если фраза обозначает обобщенное значение, то необходимо использовать глагол несовершенного вида. База знаний системы формируется в виде продукционных правил вида «ЕСЛИ < действие 1 >, ТО < действие 2>, ИНАЧЕ < действие 3 >». Студенты с помощью интерфейса на вьетнамском языке получают необходимые подсказки в процессе обучения. Диалоговое общение формируется посредством связи между студентами и системой. Подсказка системы базируется на вопросах, которые заставляют пользователя вспоминать о соответствующих правилах. Формируются вопросы о ключевом слове для определения точного случая или о выборе возможного значения для определения неточного случая, когда пользователь должен сам придумать обозначения фразы. Научная новизна работы состоит в том, что предложены модель и алгоритм адаптации интеллектуальной обучающей системы для вьетнамских студентов.

Литература

1. **Рыбина Г.В.** Основы построения интеллектуальных систем. М.: Изд. дом «Инфра-М», 2010.
2. **Учебно-тренировочные тесты по русскому языку как иностранному.** Вып. 1. Грамматика. Лексика: учебное пособие / под общ. ред. М.Э. Парецкой. — СПб. : Златоуст; Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2009. — 136 с.

Ю.И. Королев, асп.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Сегодня устойчивый интерес проявляется к средствам моделирования сложных параллельных и распределенных систем, в том числе интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР), включая ИСППР реального времени (ИСППР РВ) [1, 2]. Это обусловлено высоким риском возникновения ошибок на стадии проектирования таких систем и чрезвычайно высокой ценой проявления этих ошибок на стадии эксплуатации. Для решения задач анализа и верификации предлагаются различные способы моделирования реальных систем.

В качестве потенциальных инструментов для создания модели автором выбраны графоориентированные формализмы, обладающие высокой визуальной выразительностью и проработанным теоретическим базисом: конечные автоматы и сети Петри (СП). Сделан вывод о том, что СП являются оптимальным инструментом моделирования ИСППР.

В докладе рассматриваются цветные сети Петри реального времени (ЦСП РВ) [3] — временной подкласс цветных сетей Петри [4]. Обосновывается необходимость организации работы с качественными временными характеристиками и предлагается аппарат ЦСП РВ с поддержкой темпоральной интервальной логики Аллена [5]. Показано еще одно преимущество подобных сетей: иерархический способ построения модели. Каждая часть (объект) моделируемой системы и каждая система деятельности представлена отдельной частью соответствующей ЦСП РВ. Приводятся принципы практического моделирования с применением иерархических сетей. Описывается разработанный в среде G2 базовый инструментарий, позволяющий моделировать ЦСП РВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-01-00140-а).

Литература

1. **Вагин В.Н., Еремеев А.П.** Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2001. № 6. С. 114—123.
2. **Еремеев А.П., Куриленко И.Е.** Средства темпорального вывода для интеллектуальных систем реального времени. Интеллектуальные системы. Коллективная монография. М.: Физматлит, 2010. С. 222—252.
3. **Szpyrka M.** Modelling and Analysis of Real-Time Systems with RTCP-Nets. I-Tech Education and Publishing, 2008. P. 17—40.
4. **Jensen K.** Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use, 1992—1997. Vol. 1—3.
5. **Allen J.F.** Maintaining knowledge about temporal intervals. Communications of the ACM. 1983. V. 26. P. 832—843.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

В наши дни существует множество методов прогнозирования и анализа финансового состояния предприятия [1]. Одни из них уже устарели, другие имеют недостатки, но в современном мире, особенно в бизнес секторе, предпринимательстве, очень важно идти «в ногу» со временем.

В работе для прогнозирования и анализа финансового состояния предприятия предлагается использовать Data Mining (Интеллектуальный Анализ Данных, ИАД) [2]. В последнее время наблюдается рост интереса к новому направлению в обработке информации — Data Mining. Области применения методов и средств ИАД весьма разнообразны, но сегодня технологии ИАД оказались очень востребованными коммерческими предприятиями, развертывающими проекты на основе информационных хранилищ данных (Data Warehousing) [3]. Опыт таких предприятий показывает, что отдача от использования технологий ИАД очень большая. Например, известны сообщения об экономическом эффекте, в 10—70 раз превысившем первоначальные затраты от 350 до 750 тыс. долларов. Таким образом, средства ИАД представляют большую ценность для руководителей и аналитиков в их профессиональной деятельности. Деловые люди осознали, что с помощью технологий ИАД они могут получить ощутимые преимущества в конкурентной борьбе.

Основу методов ИАД составляют всевозможные методы классификации, кластеризации, моделирования и прогнозирования, основанные на применении индуктивных механизмов (например, деревьев решений), искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов, эволюционного программирования, ассоциативной памяти, нечеткой логики и др. В работе основное внимание было уделено использованию аппарата искусственных нейронных сетей, а также нечеткой логики для прогнозирования и анализа финансового состояния предприятия при наличии неопределенности в исходной информации. Одно из важнейших преимуществ указанных методов состоит в наглядном представлении результатов вычислений, что позволяет использовать средства ИАД людьми, которые не имеют специальной математической подготовки.

Литература

1. **Банк В.Р., Банк С.В., Тараскина А.В.** Финансовый анализ. — М.: ТК Велби, Издательство «Проспект», 2009.
2. **Финн В.К.** Об интеллектуальном анализе данных // *Новости искусственного интеллекта*. 2004. № 3. С. 3—19.
3. **Дюк В.А., Самойленко А.П.** Data Mining: учебный курс. — СПб.: Питер, 2001.

НЕЧЕТКИЕ ЗАПРОСЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ «БИНАРНАЯ МОДЕЛЬ ЗНАНИЙ»

Важной тенденцией в теории и практике информационных систем является разработка «дружественных» интерфейсов к этим системам, предоставляющих пользователям возможность формулировать запросы в виде, достаточно близком к естественно-языковому представлению. В таких запросах используются лингвистические термины, в частности лингвистические переменные в смысле Заде [1].

Поэтому в запросах появляются ссылки на нечеткие множества. Другими словами, мы имеем дело с нечеткими запросами. Имеется большое число работ по нечетким запросам к базам данных (например, [2]). Как правило, в этих работах рассматривались реляционные базы данных.

Мы рассмотрели задачу построения языка нечетких запросов и вопросы их интерпретации для системы «Бинарная модель знаний» (БМЗ) [3].

БМЗ — это система языков концептуального типа (т.е. ориентированных на представление понятий и связей между ними). Для спецификации структуры понятий в БМЗ используется язык ЯСС (язык структурной спецификации). Предложения ЯСС определяют универсумы понятий онтологии. В БМЗ используются понятия двух сортов — классы (индивидуальных объектов) и бинарные связи (бинарные отношения между классами).

Мы рассмотрели язык нечетких конъюнктивных запросов к базам фактов, структурированных по онтологиям, записанным в языке ЯСС, и разработали алгоритм трансляции таких запросов в язык SQL вместе с предложениями, определяющими функции распределения нечетких значений.

Литература

1. **Заде Л.А.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976.
2. **Zadrozny S., De Tre G., De Caluwe R., Kacprzyk J.** An overview of fuzzy approach to flexible database querying. In: Galindo J. (ed.) Handbook of research on fuzzy information processing in databases. — Hershey, N.Y., 2008.
3. **Плесневич Г.С.** Бинарные модели знаний // Международные научно-технические конференции «Интеллектуальные системы» и «Интеллектуальный САПР» (3—10 сентября 2008 г., Дивноморское): Труды конференций. — М.: Физматлит, 2008.

А.М. Листиков, асп.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЭВРИСТИЧЕСКОГО ПОИСКА В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

Основным путем повышения вычислительной мощности компьютерных систем является создание многоядерных, многопроцессорных вычислительных устройств. Технология NVidia CUDA делает возможным создавать программы, использующие вычислительные мощности графических ускорителей, которые превышают мощность центральных процессоров в разы [1].

Архитектура графических процессоров, поддерживающих CUDA, является параллельной. Для использования CUDA нужны специально написанные программы, которые отличаются от привычных программ для кластеров, многоядерных или многопроцессорных компьютеров.

В работе исследуется технология NVidia CUDA на примере реализации эффективного эвристического алгоритма поиска кратчайшего пути в пространстве состояний IDA* [2].

Модификация IDA* алгоритма для реализации на графическом ускорителе подразумевает ряд изменений исходного алгоритма, принимая во внимание ограничения платформы графического процессора. Алгоритм IDA* в своем изначальном виде подразумевает использование рекурсии, что является неприемлемым для CUDA архитектуры. Так же ветвления сильно снижают производительность реализации ввиду архитектурной особенности выполнения параллельного кода на графическом устройстве.

Очередь была представлена в виде непрерывного массива состояний, логически разбитого на отдельные очереди состояний для обработки по независимым блокам. Перераспределение состояний в очередях при опустошении некоторых из них осуществлялось средствами центрального процессора, так как эта задача подразумевает ветвление и слабо распараллеливается.

В результате была разработана и исследована параллельная модификация IDA* алгоритма для выполнения с использованием ресурсов графического ускорителя NVidia GTX560ti с 386 CUDA-ядрами и 2 ГБ памяти и для процессора Intel Core i5 2400k с 4 ядрами, частотой 3,1 ГГц и 8 ГБ памяти. Достигнутое ускорение составило более 15 раз.

Литература

1. **NVIDIA** . C Programming Guide, 2012.
2. **Richard E.** Korf, Depth-First Iterative-Deeping: An Optimal Admissible Tree Search. Department of Computer Science, Columbia University, New York, NY 10027, U.S.A., 1985.

А.А. Логинов, Н.А. Сержанов студенты; рук. О.Ю. Шамаева к.т.н.,
доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИЙ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

Представляемая работа предназначена для поддержки учебного процесса по курсам «Архитектура компьютера», «Организация ЭВМ и вычислительных систем», «Архитектура ЭВМ и системное программирование» и имеет целью предоставить студентам возможность моделировать процессы вычислений и обмена в системах с распределенной памятью и различными топологиями соединения узлов.

Лабораторный практикум по изучению многопроцессорных вычислительных систем (МВС), разработанный на кафедре ВМСС МЭИ под руководством проф. И.И. Ладыгина [1], рассматривал МВС (с точки зрения организации памяти) для решения ограниченного класса задач, моделируемого ориентированным взвешенным графом. При этом не учитывалась специфика топологии МВС с распределенной памятью.

В данной работе предложена и реализована среда моделирования процессов вычислений с учетом специфики топологии МВС и технологии передачи данных (передача сообщениями, передача пакетами) [2]. В качестве класса задач для моделирования вычислений используются типовые задачи матричной алгебры. Среда реализована средствами платформы .NET Framework в Microsoft Visual Studio 2010 на языке C#.

Данная программная среда обладает наглядными средствами обучения, с помощью которых студенты могут детально изучить функционирование топологий МВС при разных способах передачи данных.

Система позволяет:

- выбирать тип задачи для последующего моделирования и задавать ее параметры;
- задавать произвольные топологии МВС для моделирования;
- моделировать решение задачи на стандартных топологиях;
- формировать временные диаграммы загруженности процессоров и коммуникационных каналов, как результат моделирования;
- получать информацию по результатам моделирования: время вычислений подзадач, время передачи данных по сети, время простоя и время ожидания.

Литература

1. **Ладыгин И.И.** Лабораторные работы по курсу «Вычислительные системы». М.: Издательство МЭИ, 1999.
2. **Гергель В.П.** Теория и практика параллельных вычислений: учебное пособие. М.: Интернет — Университет информационных технологий, 2007.

М.Б. Макашова, студ.; рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОИСКА РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ПРЕЦЕДЕНТОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Эксперту или лицам, принимающим решения (ЛПР), свойственно на первом этапе при решении новой задачи пытаться использовать решения, которые принимались ранее в подобных случаях, и при необходимости адаптировать их в соответствии с текущей проблемной ситуацией. Данный подход с использованием накопленного опыта лег в основу методов и моделей рассуждений на основе аналогий и прецедентов [1].

Наиболее простым способом адаптации существующих алгоритмов вывода на основе прецедентов к учету фактора времени является подмена «мгновенного» снимка ключевых параметров историей их изменения [2].

Применение в составе современных интеллектуальных систем и, в частности, интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИС-ППР) методов рассуждений на основе темпоральных прецедентов, реализованных с использованием нейросетевых моделей, позволит повысить точность получаемых решений, выполнить прогнозирование динамики развития ситуации и расширить круг решаемых задач.

Интеграция подобных методов рассуждений в ИСППР для мониторинга и управления различными сложными техническими объектами позволит сократить поисковое пространство и уменьшить время реакции системы, а также поможет ЛПР своевременно выбрать необходимую стратегию поведения для устранения проблемной ситуации в условиях неопределенности и жестких временных ограничений [3].

В работе исследуется возможность использования нейросетевого подхода при поиске решения на основе темпоральных прецедентов в ИСППР. Описывается вариант адаптации алгоритмов поиска решения на основе прецедентов к учету фактора времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 11-01-00140-а, № 12-07-00508-а).

Литература

1. **Варшавский П.Р., Еремеев А.П.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. №2. С. 45—57.

2. **Еремеев А.П., Куриленко И.Е.** Реализация временных рассуждений для интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Программные продукты и системы. 2005. №2. С. 8—16.

3. **Куриленко И.Е.** Использование временной логики для расширения возможностей методов рассуждений на основе прецедентов // Сб. док. VI Междунар. научно-практ. конф. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте в 2 т. Т.1. М.: Физматлит, 2011. С. 197—208.

О.Л. Моросин, асп.; рук. В.Н. Вагин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НАХОЖДЕНИЕ КОНФЛИКТОВ В СИСТЕМЕ АРГУМЕНТАЦИИ ДЛЯ ЛОГИКИ ПРЕДИКАТОВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

В данной работе рассматривается механизм поиска конфликтов в системе аргументации, основанной на пересматриваемых рассуждениях для логики предикатов первого порядка (ЛППП). Пересматриваемая логика пытается подтвердить некоторое предположение, а точнее пытается доказать, что существует больше доводов «за» нежели чем «против» этого предположения.

Необходимость поддержки системой языка логики предикатов первого порядка объясняется тем, что существует большое количество задач аргументации, которые описываются языком логики первого порядка.

Ключевым моментом в любых системах пересматриваемых рассуждений является понятие конфликта. Будем рассматривать два типа конфликтов — опровержение (*rebuttal*) и подрыв (*undercut*) [1]. Опровержение — ситуация, когда некоторые полученные аргументы опровергают выводы ранее полученных рассуждений. Подрыв — несимметричная форма атаки, когда один аргумент отрицает связь между посылками и заключением другого аргумента. Для логики предикатов первого порядка поиск конфликтов осложняется необходимостью обрабатывать кванторы общности и существования. Например, аргументы $F(a)$ и $\forall x \sim F(x)$ вступают в конфликт типа опровержение. Ключевая идея заключается в использовании механизма унификации для поиска конфликтов обоих типов [2]. Например, опровержение можно формально записать следующим образом: если для двух произвольных формул ЛППП A и B существует унификатор $U = \text{unificate}(A, \sim B)$, то формулы A и B вступают в конфликт типа опровержение. Аналогичным образом с помощью механизма унификации определяются и конфликты типа подрыв.

Предложенный метод нахождения конфликтов был успешно реализован и протестирован на тестовых задачах предложенных Gerard A.W. Vreeswijk [3].

Литература

1. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / под ред. В.Н. Вагина, Д.А. Поспелова. 2-е изд. М.: Физматлит, 2008. 712 с.
2. John L. Pollock “Natural Deduction” Technical Report, Department of Philosophy, University of Arizona, Tucson, 1996. P. 35.
3. Gerard A.W. Vreeswijk «Interpolation of Benchmark Problems in Defeasible Reasoning» WOCFAI 1995. P. 453—468.

Р.Р. Хазиев, асп.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ И МЕТОДА ДЕМПСТЕРА—ШАФЕРА

Целью работы является разработка системы для совместного использования байесовских сетей доверия (БСД) [1] при проектировании сложно-структурированной модели [2] и метода Демпстера—Шафера [3], что позволит получить более точные вероятности событий.

Данный подход может успешно применяться в интеллектуальных системах поддержки принятия решений (ИСППР) и системах медицинской диагностики (например, диагностики глазных заболеваний).

В отличие от классической БСД в системе используется многоуровневая архитектура, которая объединяет несколько методов исследований и дает в комплексе результат анализа всей системы в целом. Разбиение системы на уровни позволяет сократить область перебора различных ситуаций для поиска наиболее вероятного результата. В системе используются не только рассуждения экспертов, но и анализ числовых данных проведения различных диагностик.

В ходе исследования установлено, что при применении аппарата БСД в ИСППР, особенно ИСППР реального времени (ИСППР РВ), недостаточно определить основные составляющие события в сети и их связи. Нужно также учитывать все возможные ситуации события, которые может предвидеть эксперт в данной предметной области. Для этого предполагается построение сложно-структурированной БСД.

Данный аппарат был адаптирован и применен в прототипе ИСППР РВ для диагностирования сложных глазных заболеваний на примере патологий сетчатки, когда невозможно с абсолютной уверенностью сказать, какая именно болезнь у пациента и на какой стадии.

Литература

1. **Бидюк П.И., Терентьев А.Н., Гасанов А.С.** Построение и методы обучения байесовских сетей // Кибернетика и системный анализ. 2005. №4. С. 133—147.
2. **Еремеев А.П., Хазиев Р.Р., Зуева М.В., Цапенко И.В.** Расширенные байесовские сети доверия и их применение в системах поддержки принятия решений // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'2012». Научное издание в четырех томах. М.: Физматлит, 2012. — С. 224 — 232.
3. **Джордж Ф. Люгер** Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. — 4-е издание: пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.

Д.И. Чернецкая, студ.; рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ПРЕЦЕДЕНТОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В настоящее время значительное внимание уделяется разработке высокоэффективных интеллектуальных (экспертных) систем, типа систем поддержки принятия решений, и систем экспертной диагностики, использующих методы правдоподобных человеческих рассуждений [1]. В данный момент ведутся широкие исследования по реализации механизмов рассуждений на основе прецедентов (CBR — Case-Based Reasoning) [1, 2].

Как правило, существующие методы рассуждений на основе прецедентов (CBR-методы) не учитывают время. Однако большинство физических процессов развивается в соответствии с некоторым временным законом и, учитывая историю изменения состояний наблюдаемого объекта или процесса, можно выдвигать более точные решения и рекомендации, чем на основании анализа текущего состояния. Для получения такой возможности следует предложить новый способ представления прецедентов, позволяющий учитывать историю изменения параметров, в виде так называемых темпоральных прецедентов [3].

Темпоральные расширения CBR-методов и соответствующие им алгоритмы могут применяться для расширения возможностей новых CBR-систем, позволяя реализовывать рассуждения, учитывающие ход процесса, способ его перехода к наблюдаемой ситуации. Темпоральное расширение CBR-методов может быть построено путем перехода в классических методах от списка параметров к историям их изменений во времени или к специальным представлениям. При этом могут быть получены различные решатели с разными характеристиками [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-07-00508-а).

Литература

1. **Еремеев А.П., Куриленко И.Е., Смирнова А.Е.** Разработка темпорального расширения методов рассуждений на основе прецедентов // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям (IS&IT'11). Научное издание в 4-х томах. - Т.1. — М.: Физматлит, 2011. — С. 50—59.

2. **Куриленко И.Е.** Использование временной логики для расширения возможностей методов рассуждений на основе прецедентов. // Сб. док. VI Междунар. научно-практ. конф. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте в 2 т. — Т.1. — М.: Физматлит, 2011. — С. 197—208.

3. **Куриленко И.Е., Макашова М.Б.** Интеллектуальная система анализа типовых ситуаций // Труды междунар. науч.-метод. конф. Информатизация инженерного образования - ИНФОРИНО-2012. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — С. 67—70.

П.Н. Шамаль, асп.; рук. В.П. Кутепов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ ЯЗЫКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ FRTL НА МНОГОЯДЕРНЫХ КОМПЬЮТЕРАХ

Целью данного исследования является реализация системы выполнения (интерпретатора) функционального языка параллельного программирования FRTL [1] на многоядерных компьютерах. Язык FRTL создан по композиционному принципу и имеет «чистую» функциональную основу, избавляя программиста от необходимости использования средств явного задания параллелизма на процессном уровне, не имеющем связи с функциональной семантикой программы. В ходе реализации системы было разработано внутреннее представление функциональных программ, оптимально подходящее для их параллельного выполнения — структурированные функциональные схемы. В качестве модели параллельного выполнения была выбрана модель динамического порождения параллельных процессов. Параллельные процессы порождаются при обработке операций композиции, имеющих явную или неявную параллельную семантику. В качестве алгоритма планирования параллельных процессов был выбран алгоритм *work-stealing* [2], специально адаптированный для работы с разработанным внутренним представлением функциональной программы. Особое внимание также было уделено таким важным аспектам реализации функциональных языков программирования, как поддержка «глубокой» рекурсии и автоматическому управлению памятью (сборке мусора).

Эффективность реализации примененных решений была проверена на типовых вычислительных задачах (численное интегрирование, быстрое преобразование Фурье) и типовых задачах обработки данных (быстрая сортировка, построение словарей). В ходе экспериментов было выявлено многократное уменьшение времени выполнения тестовых программ на многоядерных (2—4 ядер) системах, а также ряд особенностей системы, которые не были столь очевидными на этапе проектирования.

Литература

1. **Бажанов С.Е., Кутепов В.П., Шестаков Д.А.** Язык функционального параллельного программирования и его реализация на кластерных системах // Программирование РАН. 2005. С. 237—269.
2. **Robert D. Blumofe, Charles E. Leiserson.** Scheduling multithreaded computations by work stealing // 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS 1994). P. 356—368.

Д.А. Шорникова, студ.; рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОЧЕЧНО-ИНТЕРВАЛЬНОЙ ВРЕМЕННОЙ ЛОГИКИ В ПРОЦЕССЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Разработка современных интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ) предполагает учет специфики решаемых задач: наличие временных ограничений при поиске решения задачи, неопределенность в исходных данных. Для этого необходимо иметь средства представления фактора времени и временных зависимостей, на основе которых моделируются и временные рассуждения. Одним из подходов к представлению временных зависимостей является явное моделирование времени [1—3].

В классе подходов, основанных на явном моделировании времени, можно использовать модели, построенные на основе представления информации, как ограничений между временными примитивами (моментами, интервалами или их комбинациями). Множество примитивов и операций над ними представляется задачей согласования временных ограничений (ЗСВО), решение которой сводится к поиску не противоречащих друг другу ограничений.

В точечно-интервальной модели времени в качестве примитивов используются моменты времени и интервалы. Интервал представляется парой моментов (sX, eX) , причем предполагается, что $sX < eX$. Отношения определяет $R = \{<, m, o, s, d, f, \equiv\}$. Если X — момент ($pX=sX=eX$), Y — интервал, то отношения можно представить, как: $X < Y \Leftrightarrow pX < sY$; $X s Y \Leftrightarrow eX = s$; $X d Y \Leftrightarrow sY < pX < eY$; $X f Y \Leftrightarrow pY = eY$ [2].

Специфика ИСППР РВ накладывает жесткие ограничения на эффективность процесса вывода. В связи с этим точечно-интервальная логика выглядит перспективной для реализации на ее основе модуля временных рассуждений для ИСППР РВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 11-01-00140-а, № 12-07-00508-а).

Литература

1. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. №6. С. 114—123.
2. Еремеев А.П., Троицкий В.В. Модели представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2003. № 5. С. 75—88.
3. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Реализация механизма временных рассуждений в современных интеллектуальных системах // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2007. № 2. С. 120—136.

Ян Паинг Хейн, асп.; рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ WCF-СЕРВИСОВ

В рамках данной работы предлагается архитектура интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) на основе комбинации пяти современных архитектур программного обеспечения — MAC (мультиагентные системы), MDA (model-driven architecture), SOA (service-oriented architecture), EDA (event-driven architecture) и MSA (managed software architecture). Разработка прототипа самоорганизующейся распределенной ИСППР реального времени с применением языка искусственного интеллекта CLIPS представляет актуальный интерес [1—4].

Для иллюстрации преимуществ предлагаемой архитектуры для интеллектуальных систем в данной работе разработана демонстрационная модель SOA, в которой ИСППР через специальный сервис обеспечивает поддержку пользователей с учетом их родного языка (имеется в виду решение не только проблемы локализации на нужный язык, но также учет культурных ограничений и менталитета пользователя в человеко-машинном взаимодействии).

Для поддержки сервис-ориентированной архитектуры (SOA) Microsoft разработала модель программирования, названную Windows Communication Foundation (WCF). WCF-сервисы создаются и публикуются с помощью среды Microsoft Visual Studio. В данном примере композитный Web-сервис изменяя поведение ИСППР РВ в зависимости от языка пользователя перенаправляет запросы ИС на специально разработанный локализованный сервис.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 11-01-00140-а, № 12-07-00508-а, № 12-07-31239).

Литература

1. **Вагин В.Н., Еремеев А.П.** Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 6. С. 114—123.
2. **Еремеев А.П., Троицкий В.В.** Модели представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Известия РАН. Теория и системы управления. 2003, № 5, С. 75-88.
3. **Городецкий В., Карсаев О., Самойлов В., Серебряков С.** Многоагентные системы и групповое управление // Искусственный интеллект и принятие решений, 2009. №2. С. 3—24.
4. **Городецкий В.И.** Теория, модели, инфраструктуры и языки спецификации командного поведения автономных агентов: Обзор. Ч.2 // Журнал РАН Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. № 3. С. 34—47.

Секция 17

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И САПР

Председатель секции — зав. каф. ВТ, д.т.н., профессор

В.В. Топорков

Секретарь секции — к.т.н., доцент И.Е. Лешихина

Н.А. Иванова, асп.; рук. А.П. Шарапов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР

При проектировании СБИС возникает потребность в автоматическом распознавании высокоуровневых структур из схемы транзисторного уровня (укрупнении схемы) для функционального контроля полученной топологии по списку соединений, для поблочного тестирования, для разработки общей топологии или логического повторного синтеза и т.д.

Существующие алгоритмы автоматического укрупнения схем можно разделить на две группы: структурный анализ [1] и сопоставление с образцом (шаблоном) [2, 3]. Структурный анализ не может оперировать блоками нерегулярной структуры, такими как триггеры, ключи, высокоуровневые цифровые блоки, аналоговые блоки, структуру которых сложно задать каким-либо правилом. Для этих блоков используются алгоритмы сопоставления с образцом, которые сводятся к задаче проверки изоморфизма графов.

Формирование помеченного графа транзисторного уровня — сложная задача, потому что транзисторные структуры имеют мало отличительных признаков. Кроме того, требуется обширная библиотека шаблонов, что приводит к большим временным затратам на ее создание.

В данной работе разработан алгоритм укрупнения схем, сочетающий структурный и шаблонный методы анализа. Транзисторная схема разбивается на подгруппы двух типов: блоки комбинационной логики, функция которых определяется из принципа комплементарности, и секвенциальные блоки. Далее строится граф, вершинами которого являются группы элементов, а ребрами — соединения этих групп. Полученный граф проходит проверку на изоморфизм с графом-шаблоном. После каждого найденного соответствия происходит объединение групп с одинаковой функцией для получения иерархической структуры более высокого уровня.

Литература

1. **Abadir M.S.**, Ferguson, J. An improved layout verification algorithm (LAVA), Proc. Eur. Des. Automation Conf. (1990) 391—395.
2. **Thomas J.** Thatcher, Resve A. Saleh, Automatic Partitioning And Dynamic Mixed-mode Simulation, Proc. IEEE Custom Inregrated Circuits Conf. (1992) 12.7.1 – 12.7.4
3. **Huang, K.-T.** Overhauser, D. A novel graph algorithm for circuit recognition, Proc. IEEE Int. Symp. Circuits Systems (1995) 1695—1698.

АЛГОРИТМЫ ОБОБЩЕНИЯ, ОСНОВАННЫЕ НА ТЕОРИИ ПРИБЛИЖЕННЫХ МНОЖЕСТВ

Системы автоматического обнаружения знаний имеют возможность анализировать «сырые» данные и предоставлять извлеченную информацию скорее и успешнее, чем аналитик сделал бы это самостоятельно. Крайне важными при работе с реальными данными являются вопросы обобщения информации в условиях избыточности, неполноты и противоречивости данных, подлежащих обработке. В этой связи необходимо, чтобы алгоритмы извлечения и обобщения знаний обеспечивали возможность обработки такой информации [1, 3].

Задача обобщения понятий по признакам состоит в том, чтобы на основе анализа обучающей выборки U построить понятие, позволяющее с помощью некоторого правила распознавания правильно разделить все положительные и отрицательные объекты множества обучающей выборки U . Существуют различные подходы к решению задачи обобщения; в данной работе предлагается использовать подход, основанный на теории приближенных множеств. Алгоритм, реализующий такой подход, строит две системы решающих правил, одна из них дает уверенную классификацию, вторая — возможную, что позволяет обрабатывать неполную исходную информацию, а также работать с неточными и даже противоречивыми исходными данными. Методы, основанные на теории приближенных множеств, связаны с вычислением верхнего и нижнего приближений, положительных областей, срезов и т.д. Для вычисления этих характеристик строится матрица различимости. В общем виде работа алгоритма, основанного на теории приближенных множеств, состоит из следующих шагов: поиск классов эквивалентности отношения неразличимости, поиск верхнего и нижнего приближений, поиск среза информационной системы и построение набора решающих правил. Кроме того, для обработки атрибутов с непрерывной областью значений применяется дискретизация [2, 3].

Литература

1. **Достоверный** и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В.Н. Вагин и др. М.: Физматлит, 2008.
2. **Pawlak Z.** Rough sets and intelligent data analysis / Information Sciences, Elsevier Science, November 2002, vol. 147, numb. 1.
3. **Вагин В.Н., Куликов А.В., Фомина М.В.** Методы теории приближенных множеств в решении задачи обобщения понятий // Известия РАН. ТИСУ. 2004. № 6.

А.О. Кузин, асп.; Е.С. Нестеренко, к.т.н., доц.;
рук. И.П. Попов, д.т.н., проф. (СГАУ, г. Самара)

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО ПРУЖИНЕНИЯ ПРИ ОПЕРАЦИИ ДВУХУГЛОВОЙ ГИБКИ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА DEFORM-2D

Цель работы — исследование процесса двухугловой гибки в штампе с упругой планкой, моделирование данного технологического процесса в программе DEFORM-2D, позволяющий методом конечных элементов учитывать напряжения и деформации заготовок, а также применять упругие свойства штамповой оснастки.

В данной работе предложена новая схема процесса двухугловой гибки в штампе с упругой планкой (рис. 1). Данная схема предназначена для обработки металлов давлением и относится к способам штамповки двухугловой гибкой. Новая схема позволит снизить упругое пружинение, за счет формы упругой планки и формы пуансона, повысить качество детали, исключить из технологического процесса операцию калибровки.

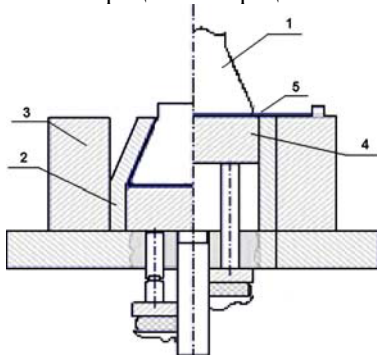


Рис. 1. Схема процесса двухугловой гибки с использованием упругой планки (слева — окончание процесса, справа — начало процесса):

1 — пуансон; 2 — упругая планка; 3 — заготовка; 4 — выталкиватель; 5 — матрица

Для подтверждения теоретических расчетов был смоделирован процесс деформации упругой планки и процесс двухугловой гибки с использованием упругой планки в программном комплексе DEFORM-2D.

Моделирование проводилось для процесса деформации прямого и обратного хода. Анализ результатов проводился в постпроцессоре программного комплекса. Для оценки условий процесса рассматривались поля распределений напряжений и деформаций по объему планки в момент начала деформации, в середине процесса деформации и по окончании деформации. Упругая планка пластически не деформировалась, что доказывает ее упругую модель.

*А.А. Фролов, студ.; рук-ли В.М. Кокин к.т.н., доц.; М.А. Карпов, м.н.с.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ОБЛАЧНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕРАКТИВНОЙ РАБОТЫ С ТРЕХМЕРНОЙ ГРАФИКОЙ В ВЕБ-БРАУЗЕРЕ

В настоящее время важной задачей является организация процесса проектирования с использованием облачных технологий. Все поставщики промышленных САПР ведут интенсивные разработки интернет-сервисов, которые предоставляют доступ к инструментам проектирования практически с любого устройства без необходимости предварительной установки ПО. Так как современный уровень автоматизированного проектирования предполагает работу с трехмерными моделями, необходима поддержка онлайн визуализации и редактирования таких моделей. В силу трудностей различного характера на данный момент пользователю доступны только приложения для просмотра 3D-моделей и связанных с ними данных. Поэтому особо актуальной является разработка интерактивных веб-инструментов, которые сочетают в себе возможности редактирования 3D-моделей и различные инженерные расчеты.

В [1] были рассмотрены принципы построения трехмерной САПР по модели SaaS (программное обеспечение как услуга) с точки зрения создания инструментов для конечного пользователя, т.е. проектировщика. На основе технологии MS Silverlight был разработан веб-прототип САПР, позволяющий загружать 3D-модели, размещать модели (компоновать) на сцене, создавать сборки, сериализовать модели сцены, управлять камерой, редактировать модели и сборки.

В данной работе рассматриваются вопросы использования концепции облачных вычислений с точки зрения поставщика (разработчика) САПР. Предлагается использовать облако как интегрированную платформу для разработки, тестирования, развертывания и поддержки веб-приложения САПР. В качестве реализации модели PaaS (платформа как услуга) была выбрана платформа Windows Azure. Рассмотрены различные аспекты разработки, развертывания и выполнения приложения, а также организация хранения данных.

Предложенный подход может быть применен при разработке электронных каталогов изделий, систем дистанционного обучения, компоновочных решений САПР, расчетных программ.

Литература

1. **Фролов А.А., Карпов М.А., Кокин В.М.** Разработка инструментов для интерактивной работы с трехмерной графикой в веб-браузере // Материалы VII рег. науч.-техн. конф. студ. и асп. «Энергия-2012». Иваново: ИГЭУ. 2012. Т.5. – С. 114.

Секция 18

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, СЕТИ И СИСТЕМЫ

Председатель секции — д.т.н., профессор Л.И. Абросимов

Секретарь секции — аспирант М.Д. Крамаренко

Н.С. Вагнер, асп.; рук. И.И. Дзегеленок, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕШЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ЗАДАЧ ПОИСКОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В процессе изучения окружающего мира часто возникают задачи, для которых нет четкого шаблона, нет четкой границы области знаний требуемых для их решения. Процесс формальной постановки задачи может протекать непрерывно с ее решением по мере уточнения целей исследования и изучения поискового пространства. На решение таких, не полностью определенных (открытых) задач и нацелена рассматриваемая технология.

Ключом решения таких задач является получение искомого причинно-следственного знания, закономерности «успеха», относительно варьируемых значений числового представления свойств поискового пространства. Каждое свойство может представлять собой как количественную, так и качественную характеристику. В этом случае аналитическому представлению свойств — предметным переменным назначаются именные значения. Во время решения определяется как вклад каждой предметной переменной в достижении успеха, так и влияние предметных переменных друг на друга.

Эффективность технологии решения открытых задач во многом определяется отсутствием противоречий в виде запрещенных комбинаций значений задаваемых параметров. Преодолеть эту трудность позволяет перепостановка открытой задачи с трансформацией поискового пространства, на основе причинно-следственно знания, полученного на предыдущей итерации решения задачи. Трансформация поискового пространства означает корректировку отражения «открытого мира» на предметные переменные и их значения. Предлагаемая технология, направлена на совершенствование механизмов машинного обучения, в части линеаризации искомого знания и сокращения числа выдвигаемых эмпирических гипотез.

А.Е. Киреенко, асп.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., доц. (РГСУ, Москва)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ДИСКРЕЦИОННОЙ МОДЕЛЬЮ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ

Автоматизированные системы обработки информации в настоящее время применяются для решения важных для безопасности государства и общества задач (охрана государственных секретов, управление атомными станциями, электронные банковские расчеты). Используемая большей частью систем дискреционная модель разграничения доступа к объектам не позволяет отслеживать перемещение конфиденциальной информации из защищенного объекта в незащищенный в процессе работы даже в случае выполнения пользователем/процессом санкционированных действий [1]. В связи с тем, что системой этот процесс не контролируется, появляется потребность в создании метода, позволяющего контролировать возможность утечки информации. Для контроля возможности утечки конфиденциальной информации из объектов, доступ к которым ограничен, необходимо обеспечить регулярную проверку выполнения следующих условий: 1) проверяемый субъект доступа S_i входит в множество S ; 2) существуют объекты доступа, в которые S_i имеет право записи или является их владельцем; 3) к некоторым из объектов доступа, удовлетворяющим условию 2, имеют право на чтение субъекты доступа, не входящие в S . Если все три условия выполняются, то в проверяемой системе существует канал потенциальной утечки конфиденциальной информации [2]. Реакцией на обнаруженную уязвимость системы может быть оповещение администратора, а также автоматическое или ручное исправления ситуации. Исправление ситуации может быть организовано по одному из следующих сценариев [3]: 1) ограничение субъектам S_i права на запись в объекты, к которым имеют право на чтение субъекты доступа, не входящие в S ; 2) ограничение субъектам, не входящим в S , права на чтение и запись для объектов, в которые имеют право записи (или являются владельцами) субъекты S_i . На основе данного метода предлагается алгоритм контроля потоков, состоящий из этапов: получение списка объектов с конфиденциальной информацией, списка общедоступных объектов, выявление каналов утечки конфиденциальной информации.

Литература

1. **Домарев В.В.** Безопасность информационных технологий. – Diasoft, 2001.
2. **Девянин П.Н.** Модели безопасности компьютерных систем. – М.: Издательский центр «Академия», 2005.
3. **Гайдамакин Н.А.** Разграничение доступа к информации в компьютерных системах. – Екатеринбург: Издательство Урал. университета, 2003.

М.Д. Крамаренко, асп.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕВЫХ УСТРОЙСТВ ПОСРЕДСТВОМ ПРОГРАММНЫХ ЗОНДОВ

Проведение исследований, целью которых являлось определение вероятностно-временных характеристик (ВВХ) сетевых устройств (СУ) таких как: прокси-серверы и маршрутизаторы, позволили определить следующее: способ определения ВВХ СУ, местоположение установки программных зондов (ПЗ), способы повышения производительности ПЗ, методы обработки результатов.

Для выбора способа измерений в качестве СУ была рассмотрена однопроцессорная ЭВМ под управлением ОС Linux. В процессе исследования было обосновано решение, по которому определение ВВХ необходимо проводить методами натуральных измерений, а исследование программной составляющей СУ выявило, что наличие шагов (подпрограмм или наборов подпрограмм), составляющих каждую из фаз (прием, обработка, отправка) обслуживания заявки, дает возможность использования ПЗ для измерений конкретных параметров ВВХ. Это в совокупности с отсутствием специализированных аппаратных средств позволило обосновать выбор в пользу способа натурального измерения параметров ВВХ СУ посредством ПЗ.

В качестве параметров СУ, составляющих ВВХ, были выбраны времена выполнения каждого шага и вероятность выполнения каждого шага. В качестве шагов фаз приема и отправки были использованы функции ядра ОС Linux. Для выявления соответствия шагов фаз приема и отправки с функциями ядра ОС Linux были проведены эксперименты с установленными зондами на все функции ОС Linux, связанные с работой в сети. Это, в свою очередь, позволило определить места для установки зондов, а так же выделить фазы.

Так как ПЗ выполняет останов и подпрограмму обработки, то иногда возникала ситуация, когда подпрограмма зонда выполнялась дольше, чем функция-шаг. Это потребовало улучшения производительности зондов посредством сокращения вычислений. Кроме того, было обоснованно, что фиксация времени начала и конца выполнения функций осуществляется программными зондами.

Для получения результатов по экспериментальным данным были использованы методы статистической обработки.

Доклад содержит подробное изложение полученных результатов.

П.С. Лавровский, Д.И. Евдокимов, студенты;
рук. И.А. Чертков, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

ИНТЕРФЕЙС СИСТЕМЫ «ОСНОВЫ АЛГОРИТМИРОВАНИЯ»

Для обучения студентов основам алгоритмирования на кафедре информатики разрабатывается обучающая система, которая должна позволять студенту в интерактивном режиме реализовывать некоторые стандартные алгоритмы.

Встает вопрос о том, как реализовать пользовательский интерфейс данной системы с тем, чтобы он, во-первых, был интуитивно понятен студенту, а во-вторых, максимально соответствовал логике алгоритма.

Выделим основные элементы и операции алгоритмов:

- элемент массива. Может находиться в двух состояниях: «Виден» или «Не виден» алгоритму. Два состояния удобно показать в виде карточки, которая поворачиваясь, открывает или закрывает значение элемента массива;

- буферная переменная. Является ячейкой памяти, как и элементы массива, она не должна отличаться от них визуально;

- обмен значений двух элементов массива. Это стандартное действие для многих алгоритмов, проводимое через буферную переменную, поэтому его можно сократить до одного действия «Обмен»;

- присвоение значения буферной переменной. Можно предложить выполнять данное действие с помощью переноса запоминаемой карты на буферную переменную;

- активный на данном шаге алгоритма элемент. Выделяется цветом. Элементы, содержащие отсортированные значения, затемняются.



Рис. 1. Интерфейс алгоритма «Поиск максимального элемента»

В качестве дополнительной информации, текущее состояние сортировки нужно выносить в правый верхний угол в специально отведенную область, что позволяет пользователю легко его контролировать.

*К.Е. Лебедев, А.В. Осипов, студенты; рук. И.И. Ладыгин, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КЛАСТЕРНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ГРАФОВ ЗАДАЧ ДЛЯ ДАННОЙ СИСТЕМЫ

Целью данного проекта является уменьшение времени выполнения задач на кластерных вычислительных системах (КВС) за счет предоставления возможности моделирования их выполнения при помощи программной модели КВС.

В рамках этого проекта была разработана программная модель организации вычислительного процесса (ВП) и неоднородной КВС.

Для создания программной модели был разработан алгоритм назначения готовых вершин графов задач по свободным вычислителям в соответствии с выбранной нами стратегией назначения. Разработан алгоритм моделирования ВП и интерфейс пользователя позволяющий задавать различную конфигурацию КВС.

Также была разработана программа с удобным интерфейсом, позволяющая графически задавать графы задач для исполнения на вышеупомянутой модели КВС.

С разработанной программной моделью был проведен ряд экспериментальных тестов, в ходе которых моделировалось решение задач двух видов: перемножение двух матриц большой размерности, решение дифференциальных уравнений. В результате были получены зависимости времени выполнения и коэффициента ускорения выполнения задач от параметров КВС (количества вычислителей в процессоре, количества процессоров в вычислительном узле, количества вычислительных узлов). На основе полученных зависимостей были сделаны выводы о наиболее предпочтительной конфигурации КВС для задач данных типов.

В перспективе планируется расширить функциональность программной модели КВС за счет возможности подключения графического процессора, а также за счет возможности задавать емкости модулей памяти. Планируется усовершенствование интерфейса программы для задания графов.

Д.А. Тютиков, магистр; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

В настоящее время все большую популярность приобретают облачные системы хранения данных (ОСХД). Это связано с тем, что клиент с минимальными затратами получает дистанционно-доступную, масштабируемую систему хранения данных произвольного объема, а поставщик услуг получает возможность максимально использовать свои ресурсы без привязки к конкретному клиенту.

Однако использование ОСХД влечет за собой некоторые проблемы инженерного характера как для клиентов, так и для поставщиков услуг.

Для потребителей главными проблемами является обеспечение доступности и безопасности. Хранение критичных для производственного процесса данных подразумевает использование нескольких резервных каналов для доступа к глобальной сети. При этом частные данные передаются через публичную сеть, и остро встает вопрос обеспечения безопасности. Необходимо исключить использование атаки типа «man in the middle». Решением проблемы может являться использование VPN-подключения к удаленным ресурсом. При грамотной реализации это сделает перехват, дешифрование и подмену данных крайне трудоемкой задачей, не осуществимой за приемлемое время.

Провайдеры сталкиваются с проблемами сохранности данных. Этот параметр регулируется количеством резервных копий данных. Слишком малое их количество увеличивает вероятность безвозвратной утраты данных, а увеличение числа копий растут затраты на оборудования. На сегодняшний день стандартом является использование трех копий, что позволяет сохранить баланс между затратами оборудования и надежности. Важно размещать резервные копии на достаточном удалении друг от друга. Например, если они находятся, на разных серверах, но в одной стойке, то сбой питания в стойке приведет к потере данных. Важной проблемой является балансировка нагрузки между серверами хранения данных и между прокси-серверами. Для балансировки нагрузки между серверами хранения им присваиваются весовые коэффициенты в зависимости от объема их дискового пространства и быстродействия. Таким образом, быстрые сервера с большими дисками используются чаще, а менее мощные — реже. Еще одним способом оптимизации ресурсов может быть перемещение наиболее часто используемых данных на более быстрые носители (SSD), а редко используемых на медленные (магнитные ленты). Балансировка нагрузки между прокси-серверами реализуется при помощи протокола CARP. В докладе приводятся результаты сравнительной оценки различных подходов модернизации ОСХД.

А.С. Чурилин асп.; рук. И.И. Дзегеленок д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИ УКРУПНЕННОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ

Современный мир включает в себя огромное многообразие сложных объектов производства, управление которыми требует решения комплексных нетривиальных задач большой размерности. Очевидно, что решать их напрямую сложно и невыгодно как с точки зрения экономики, так и с точки зрения требуемой производительности и надежности вычислительной среды. Поэтому все большее признание получают методы декомпозиции подобных задач, которые позволяют путем разбиения на более простые составные части упростить и ускорить процесс решения.

Модели декомпозиции можно условно разделить на два основных класса:

1. Строго формализованные модели разбиения.
2. Содержательные модели разбиения.

В первом случае мы говорим о разбиении задачи с точки зрения алгоритма, т.е. сам метод позволяет распараллелить решение на более простые составляющие, которые можно обрабатывать одновременно. Например, метод функциональных характеристик, методы факторизации в теории графов, метод декомпозиционных эквивалентов и другие.

Такое разбиение может быть функциональным или по данным.

Во втором случае мы говорим о разбиении с точки зрения выполняемых функций в структуре предприятия (например, разбиваем управление энергосистемой на функции центра и функции филиалов и т.д., получая некое административное деление).

При этом важен еще элемент крупноблочности, т.е. насколько большими и малыми могут быть составные части задачи после декомпозиции. Важно, чтобы весь эффект от снижения размерности решаемой задачи не был нивелирован временем, которое будет тратиться на обмен результатами между вычислителями.

В МЭИ на кафедре ВМСиС в настоящий момент разрабатывается сетевая среда для территориально-распределенных вычислений на основе декомпозиции решаемых задач, которая должна совместить описанные выше модели. Получаемые результаты позволяют говорить о перспективности данной разработки.

УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Председатель секции — к.т.н., доцент Д.Н. Анисимов

Секретарь секции — аспирант К.Ю. Ситников

О.С. Ассур, асп.; рук. Г.Ф. Филаретов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ

Системы RTLS (Real time location system) предназначены для решения широкого спектра задач позиционирования объектов в пространстве. В зависимости от класса решаемых задач на практике используются различные технологии — GPS, GSM, RFID и ряд других.

Для определения положения объектов вне помещений успешно применяются технологии спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС), а также технологии, использующие средства мобильной связи (GSM). Однако для определения местоположения объектов внутри помещений они малоприменимы либо в связи с низкой точностью (GSM), либо в связи с невозможностью применения вследствие ослабления спутникового сигнала в стенах и перекрытиях зданий.

Наибольшее распространение при решении задачи позиционирования в закрытых помещениях находит позиционирование с помощью Wi-Fi. Технология позиционирования в этом случае чаще всего базируется на использовании данных от различных точек доступа о мощности принимаемого ими Wi-Fi сигнала. На основе этой информации можно построить карту распределения мощности сигнала по помещению, для чего необходимо иметь математическую модель распространения сигнала, т.е. зависимость уровня сигнала от расстояния между источником сигнала (объекта) и точкой доступа в сеть. Суждение о местоположении объекта делается на основании определения такой точки на карте, которая в признаковом пространстве мощностей сигнала располагается ближе всего к точке, в которой происходит измерение.

Ключевая проблема здесь — построение указанной математической модели. Для ее получения в настоящее время используются методы регрессионного анализа, а также искусственные нейронные сети типа многослойный перцептрон [2]. Однако многие вопросы здесь остаются разработанными в недостаточной степени. К ним относятся, в частности, учет влияния особенностей распространения радиоволн в помещениях различ-

ной планировки, нестабильность мощности излучаемого сигнала и т.д., что может служить предметом последующих исследований.

Литература

1. **Denis T., Weyn M., Williame K.** Real Time Location System using Wifi // Hogeschool Antwerpen. 2006.

2. **Любимов О.Е., Шишалов И.С.** Исследование возможности применения машинного обучения для определения местоположения объекта на территории беспроводной сенсорной сети методом RSSI // Физические основы технологий беспроводной связи: Тр. 8-й науч. конф. по физике: ННГУ, 2009.

О.О. Величко, асп.; рук. Д.Г. Грязин, д.т.н.
(ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург)

СТЕНД КАЧКИ С ЗАДАНЫМ СПЕКТРОМ ЧАСТОТ. ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ

Микромеханические инерциальные датчики (ММД) (гироскопы и акселерометры), а также модули на их основе получили широкое распространение в различных областях современной техники, в том числе в системах управления высокодинамичными объектами (воздушные, наземные, подводные автоматические аппараты). Коммерческая стоимость подобных изделий во многом определяется затратами на их калибровку, которая позволяет многократно повысить точность вырабатываемых с их помощью параметров. Уменьшение стоимости ММД напрямую связано с автоматизацией процесса калибровки. Для этих целей необходимо создание высокочастотных стендов, воспроизводящих колебания с заданным спектром частот.

В связи с этим в ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» выполнена разработка стенда, обеспечивающего возможность воспроизведения колебаний в заданном спектре частот в диапазоне от 0,1 до 4 Гц. Стенд представляет собой раскачивающуюся в двух плоскостях платформу, установленную на крестообразном подвесе. Расширение частотного диапазона работы достигается за счет установки приводных двигателей каждой оси на основании устройства. Применение специального трехстепенного подшипника качения обеспечивает устранение перекрестной связи, при которой колебания по внутренней оси могут модулировать колебания по внешней оси. Стенд обеспечивает колебания по двум осям в диапазоне частот от 0,1 до 4 Гц с фиксированными амплитудами 15 и 25° по каждой оси соответственно. Система управления стендом позволяет задавать значения частот колебаний как в ручном режиме путем ввода соответствующих значений в поля для каждой оси стенда, так и в автоматическом.

Оценка спектра входного сигнала проводится по показаниям датчиков углов по каждой оси, входящих в состав стенда. При определении спектра выходного сигнала исследуемого прибора необходимо дополнительно внести поправки в показания прибора, компенсирующие погрешности выработки значений углов, возникающие из-за инерционных ускорений, вызванных отстоянием центра масс платформы от центра вращения.

Экспериментально определенная в соответствии с теоремой Хинчина передаточная функция исследуемого прибора позволит провести оценку дисперсии ошибки системы во всем частотном диапазоне. Это облегчит процесс калибровки, что, в свою очередь, приведет к снижению их себестоимости.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 11-08-00108-а.

УСТРОЙСТВО СБОРА ДАННЫХ НА БАЗЕ ОС ANDROID

Целью работы является разработка и программная реализация алгоритмов, задействующих и собирающих в файл на SD карту информацию с датчиков устройства, работающего под управлением операционной системы Android. Выбор алгоритмов и способов их реализации определяется техническими особенностями устройства — набором датчиков и операционными возможностями [2].

Платформа Android идеально подходит для создания инновационных приложений с использованием аппаратных датчиков, она располагает широкими возможностями по измерению и хранению параметров окружающей среды [1]. В докладе описывается Android приложение, обеспечивающее сбор данных с датчиков ориентации, акселерометра, и магнитного поля [3]. Разработанное Android приложение написано на языке Java в среде Eclipse с ADT плагином (API 8).

Центром в приложении служит интерфейс `SensorListener`. Он включает в себя два необходимых метода:

1) метод `onSensorChanged` (вызывается всякий раз, когда изменяется значение датчика);

2) метод `onAccuracyChanged` (вызывается при изменении точности показаний датчика). Чтобы минимизировать расход ресурсов, частота сбора данных выбрана `SENSOR_DELAY_NORMAL` (125 мс).

Отладка приложения проводилась на одноплатном компьютере DevKit8500D с расширенными мультимедийными и коммуникационными возможностями на базе высокопроизводительного процессора DM3730 Texas Instruments, (ядро ARM Cortex-A8 с тактовой частотой 1000 МГц). На DevKit8500D могут быть также установлены операционные системы Linux 2.6.32, Windows CE 6.0.15 [2].

Конечное устройство на основе одноплатного компьютера DevKit8500D можно было бы использовать на малогабаритном спутнике, целью которого является получения информации о Земле и околоземном пространстве. Передача собранной информации осуществлялась бы по FTP каналу.

Литература

1. **Голошапов А.Л.** Google Android. Программирование для мобильных устройств. СПб.: БХВ-Петербург, 2011.
2. **Давыдов А.С.** Разработка программного обеспечения для работы под управлением ОС Android // Тр. Всерос. конф. Самара: СГАУ, 2012.
3. **Майер Р.** Android 2. Программирование для планшетных компьютеров и смартфонов. М.: Эксмо, 2010.

Ж.С. Дуйсенбекова, студ.; рук. С.Г. Хан, к.т.н., проф. (АУЭС, г. Алматы)

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ АСЭ И СОЛНЕЧНОЙ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ В РЕЖИМЕ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА

Солнечная энергия — практически вечный и потенциальный огромный источник энергоснабжения, не вносящий каких-либо загрязнений в окружающую среду. В Алматинском университете энергетики и связи в учебно-научной лаборатории «Энергосбережение и нетрадиционные возобновляемые источники энергии» разрабатываются несколько автоматизированных лабораторных практикумов на базе автоматизированных систем экспериментальных исследований (АСЭИ) для исследования различных объектов: фотоэлектрической станции, ветроустановки, котельной установки, станции метеонаблюдений, солнечной теплогенерирующей установки, тригенерационной установки.

Целью работы является применение новейших компьютерных технологий и свойств сети Интернет в учебном процессе при разработке АСЭИ солнечной теплогенерирующей установки (СТУ).

В качестве объекта исследования выбрана учебная лабораторная СТУ. Предназначение данной установки заключается в замещении централизованного теплоснабжения и водоснабжения альтернативными источниками энергии — солнечными коллекторами. Солнечные коллекторы расположены на гелионавигационной установке (гелиостате). Гелиостат — устройство для поворота солнечных панелей к солнцу под определенным углом по тангажу и азимуту. При помощи гелиостата можно менять угол наклона солнечных панелей и вычислить наилучший угол по отношению к солнцу, при котором повысится их КПД. Для создания прикладного программного обеспечения АСЭИ СТУ применяется среда графического программирования Lab VIEW фирмы National Instruments. Разработанный интерфейс для установки СТУ визуализирует входные сигналы, полученные с датчиков физической установки с помощью контроллеров NI Compact Field Point. Это угол наклона коллектора к горизонту, азимут поверхности, температура на входе и выходе, температура окружающей среды и другие показатели.

Для создания АСЭИ СТУ в режиме удаленного доступа требуются применение специальных технических средств как для автоматизации экспериментального стенда, так и для связи управляющего компьютера с удаленным пользователем, разработка прикладного программного обеспечения (ПО) или использование в отдельных случаях специализированных пакетов программ и разработка web-сайта.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ СТЕКЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Стекольная промышленность развивается в условиях постоянных требований повышения качества, снижения себестоимости продукта и сокращения времени до появления продукта на рынке. Решением проблем, возникающих перед производителями стекла, является комплексная система автоматизации. Это обуславливает актуальность рассматриваемой темы.

Рынок предлагает различные системы автоматизации стекольной промышленности. В этих условиях перед компаниями предстает новая задача выбора наиболее подходящего программного продукта в соответствии с потребностями и финансовыми возможностями [1]. Определим, какие программные продукты подходят для автоматизации мелких, средних и крупных предприятий стекольной промышленности. Для этого сравним системы и сведем полученные данные в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение систем автоматизации стекольной промышленности

Программные продукты	Alfak, Alcim (Albat + Wirsam)	Aupos Glas (CSG Aupos)	Adulo GS (Adulo GmbH)	Win Technology (Evrolin)
Критерии сравнения				
Наличие лицензионного ключа	+	+	+	+
Функциональный охват	+	+	+	-
Возможность разработки декоративных форм	+	+	-	-
Гибкость системы	+	+	-	-
Постоянное развитие	+	-	-	-
Сравнительно небольшие затраты	-	-	-	+
Техническая поддержка	+	+	+	-

Крупными предприятиями могут быть использованы программный продукт для обработки заказов — «Alfak» и программный продукт для управления производством — «Alcim», разработанные компанией «Albat+Wirsam» [2]. Для удовлетворения потребностей крупных предприятий также подходит «Aupos Glas» («CSG Aupos»). Этот продукт может быть использован и средними по размеру организациями. Также для средних предприятий подходит «Adulo GS» («Adulo GmbH»). Мелким предприятиям рекомендуется приобрести «WinTechnology» («Evrolin»).

Полученные результаты позволяют компаниям выбирать подходящий для них программный продукт, позволяющий наиболее эффективно управлять своими ресурсами.

Литература

1. Программное обеспечение для стекольной промышленности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.winews.ru/?id=8&nid=388> (дата обращения: 10.10.2012).
2. Кондратьева Н.А. Albat+Wirsam: Автоматизация в стекольной промышленности // Стекло и бизнес. 2010. № 2.

Д.А. Исмаилов, студ.; рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КОНТРОЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ-МАХОВИКОВ

В настоящее время проблема точной ориентации космических аппаратов при их эксплуатации на орбите стоит очень остро. В качестве исполнительных органов для систем стабилизации и ориентации средних и малых космических аппаратов используются комплексы управляющих двигателей-маховиков (КУДМ), преимуществом которых является работа только за счет электроэнергии, вырабатываемой солнечными батареями [2]. Основной их функцией является кратковременная работа для обеспечения особо точной ориентации или коррекции положения космического аппарата, подверженного внешним возмущениям [1].

При проектировании нового устройства, возникла проблема разработки алгоритма проверки КУДМ, позволяющего решать следующие задачи:

формирование признаков исправности канала управления (по информации о кодах заданного и фактически вырабатываемого моментов);

формирование признака корректности тока двигателя-маховика (ДМ) (по информации о коде заданного момента);

вычисление момента, вырабатываемого ДМ (по информации об угловой скорости вращения ДМ и его моменту инерции);

формирование и отправка информационных слов в бортовой вычислитель с последующей упаковкой в файл телеметрии.

Данные задачи были реализованы в алгоритме, разработанном для ФГУП МОКБ «Марс». При разработке алгоритма решались следующие проблемы: преобразование импульсов, приходящих с датчика положения ротора в значение угловой скорости; расчет фактического вырабатываемого ДМ момента по данным об угловой скорости ДМ; формирование и отправка в бортовой вычислитель данных о работоспособности КУДМ в формате мультиплексного канала обмена (МКО); составление циклограммы обмена контроллеров КУДМ и бортового вычислителя; переключение на резервный канал управления при неисправностях основного.

Полученный алгоритм стал основанием для разработки и написания программного обеспечения контроллера КУДМ, а также последующего внедрения в макет нового устройства.

Литература

1. **Алексеев К.Б.** Управление космическими летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1974.

2. **Бортовые** системы управления космическими аппаратами / А.Г. Бровкин, Б.Г. Бурдыгов, С.В. Гордийко и др. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010.

Д.А. Козлюк, студ.; рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА С ЦЕНТРОБЕЖНЫМ НАГНЕТАТЕЛЕМ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА

Активное внедрение в настоящее время в состав газоперекачивающих станций и цехов управляемых газоперекачивающих агрегатов (ГПА) с целью оптимизации энергетических затрат на транспортировку газа существенно повышает требования к квалификации обслуживающего персонала и особенно к диспетчерской службе. В связи с этим совсем иначе начинают организовываться система подготовки операторов и диспетчеров, которая предусматривает в своем составе наличие комплексных тренажеров, работающих в реальном времени для имитации стационарных и аварийных режимов, а так же пусковых и остановочных режимов как при ручном, так и в автоматическом режимах. Существующие модели ГПА предназначены в основном для имитации стационарных режимов. В этих режимах переходные процессы обусловлены лишь динамикой управляющей аппаратуры и приводного двигателя и, как показывают записи с регистраторов давления и температуры газа на выходе ГПА, длительность переходных процессов не превышает единиц секунд. Именно поэтому в модели ГПА для этих режимов закладываются статические характеристики нагнетателя и учитываются лишь аperiодические свойства управляющей аппаратуры. Вместе с тем в настоящее время отсутствуют сведения о наличии моделей, имитирующих работу ГПА при включении байпаса при уменьшении расхода прокачиваемого газа через ГПА и возникновении опасности попадания компрессора в режим помпажа. Динамика работы ГПА в этом режиме характеризуется повышением температуры газа на выходе ГПА, которая может достичь опасных пределов за единицы минут. Имитация подобного режима является особенно важной при построении комплексных тренажеров для обучения операторов.

В докладе рассматривается вариант построения динамической модели электроприводного управляемого ГПА с центробежным нагнетателем, в которой предусматривается возможность включения и отключения байпаса. Подобная модель позволяет имитировать режимы запуска и остановки ГПА, а так же стационарные режимы. Модель в виде субблока может быть использована для имитации параллельной работы ГПА в составе компрессорного цеха и при отработке вариантов построения цехового регулятора выходных параметров прокачиваемого газа. В докладе рассматривается модель, реализованная в среде MatLab (Simulink).

ИССЛЕДОВАНИЕ АСР МОЩНОСТИ ГТУ-110

Парогазовые установки с КПД 50—55 % уже составляют значительную часть современной энергетики. Однако чтобы повысить конкурентоспособность и спрос на газотурбинные установки (ГТУ), изготовители продолжают разрабатывать агрегаты с большим КПД — свыше 40 % для одной ГТУ. Исследование режимов работы ГТУ с целью повышения КПД является актуальной научно-технической задачей.

Регулирование нагрузки газовой турбины в диапазоне 100—60 % осуществляется изменением расходов воздуха через компрессор с помощью входного направляющего аппарата (ВНА) и топлива регулирующим топливным клапаном при примерно постоянной температуре выхлопных газов. В диапазоне нагрузок 0—60 % мощность ГТУ изменяется только за счет изменения расхода топлива при полностью прикрытом ВНА. Температура выхлопных газов при этом прямо зависит от мощности и расхода топлива.

Исследуются две схемы регулирования мощности: в первой схеме расходом топлива поддерживается мощность, а коррекция по температуре газов за турбиной осуществляется расходом воздуха; во второй схеме расходом топлива поддерживается температура газов за турбиной, а мощность — расходом воздуха.

Проведены эксперименты при различных режимах работы ГТУ. Для каждого из режимов при выходе на значение температуры газов 520 °С за турбиной найдены значения КПД. Работа газовой турбины возможна и при других значениях температуры. При этом, нижний предел температуры соответствует технологическому ограничению работы паровой турбины и составляет 440 °С, дополнительно снижается КПД котла утилизатора. Верхний предел соответствует технологическому ограничению работы котла утилизатора и составляет 570 °С [1].

Результаты анализ показали, что максимальный КПД ГТУ без учета КПД всей установки достигается при полном открытии ВНА. С учетом ограничений по температуре газов за турбиной КПД ГТУ снижается. В ходе испытания второй схемы установлено, что простая схема регулирования мощности расходом воздуха невозможна, так как регулирование положением УК ВНА уместно лишь в узком диапазоне режимов.

Литература

1. Колосова Ю.С., Голубев А.В. Разработка модели газотурбинной установки блока ПГУ-325// Наука и инновации в технических университетах: материалы Шестого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. С. 24—26.

В.В. Крюкова, студ.; рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА ПО ВИДУ СПЕКТРА ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВХОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Периодические сигналы, в том числе гармонические, очень часто используются для диагностики состояния объектов. При этом для анализа используют представление периодического сигнала в виде набора гармонических составляющих — спектра. Но не всегда оценка только первой гармоники дает верный результат, так как реакция на входной сигнал типа «меандр» может содержать высшие гармоники, эквивалентные по амплитуде первой [1]. Поэтому в данной работе исследуется возможность использования интегрального показателя для оценки частотных свойств объекта при воздействии на него периодических сигналов.

Под интегральным критерием в данной работе подразумевается интеграл по модулю отклонений выходного периодического сигнала объекта в течение периода. В качестве примера исследовалось состояние биологического объекта — сетчатки глаза. Для исследования использовались ритмические электроретинограммы. Ритмическая электроретинограмма — это цифровая запись изменения во времени биопотенциала сетчатки глаза в ответ на повторяющиеся с определенной частотой световые раздражители. В докладе показывается, что если объект исследуется в полной темноте, то спектр сигнала содержит доминирующую первую гармонику. Соответственно, по ней можно проводить исследование. Если же объект исследуется при световой адаптации, работают другие механизмы. В работе показано, что гармоники с номерами 1—5 вносят значительный вклад в спектр РЭРГ, при этом их амплитуды эквивалентны. В работе показывается, что в этом случае первая гармоника становится неинформативной, а интегральный показатель оказывается более эффективным. В докладе показывается, что полученные результаты можно использовать как дополнительные признаки в системах диагностики на базе нечеткой логики.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 13-01-0082-а).

Литература

1. Колосов О.С., Крюкова В.В., Хрипков Д.В. Оценка частотных свойств сетчатки глаза по результатам обработки ритмических электроретинограмм // Тезисы докладов Международного научно-технического семинара «современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации». Алушта, 2012.

А.Е. Мазанова, студ.; рук. С.А. Хризолитова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АРМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ

Кафедра управления и информатики ведет сотрудничество с Северо-западным политехническим университетом (г. Сиань, КНР), силами кафедры автоматике которого были разработаны стенды, в дальнейшем приобретенные кафедрой управления и информатики для выполнения на них лабораторных работ по курсу теории автоматического управления.

Основной целью данной работы явилось создание автоматизированного рабочего места для исследования электромеханических следящих систем (ЭМСС) на базе приобретенных стендов.

В рамках данной работы было выполнено следующее:

- разработано теоретическое введение для лабораторных работ по исследованию ЭМСС и ее элементов [1];
- проведены исследования лабораторных стендов: для элементов ЭМСС, а так же для системы в целом были сняты статические и динамически характеристики; рассмотрены различные способы коррекции ЭМСС; изучено поставляемое со стендами программное обеспечение и перспектива подключения стенда, предназначенного для исследования ЭМСС, к имеющемуся интерфейсу;
- по полученным данным составлено описание стенда, предназначенного для изучения ЭМСС;
- проведено цифровое моделирование в среде MATLAB Simulink, а так же аналоговое моделирование на операционных усилителях, что позволило дать сравнительную оценку качества управления;
- разработаны задания для выполнения лабораторных работ на стендах.

По завершении данной работы был составлен лабораторный практикум по исследованию ЭМСС, в котором каждая работа включает в себя: теоретическую часть, описание лабораторного стенда, задание для студентов, подробные методические указания и контрольные вопросы.

Данный комплекс лабораторных работ улучшит восприятие информации студентами, упростит и делает более понятным лабораторный практикум по курсам «Теория автоматического управления», «Элементы систем управления» и «Электромеханические системы», что, в свою очередь, повысит качество образовательных услуг, оказываемых кафедрой.

Литература

1. Хризолитова С.А., Ягодкина Т.В., Колосов О.С., Бондин О.А. Основы теории управления. Лабораторный практикум: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ДВУЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

Возрастание интереса к проблеме классификации двуязычных текстовых документов связано с увеличением потребностей широкого круга пользователей в автоматизированной обработке и анализе многоязычной информации [1].

В данной работе исследовалась точность классификации двуязычных научных статей на основе анализа их библиографических описаний (БО), которые включают в себя название, аннотацию и ключевые слова. Отметим, что БО научных текстов написаны на двух языках — на родном языке авторов (в нашем случае русском), а также на английском. Учитывая двуязычность публикаций, перспективным направлением исследований является изучение возможности увеличения точности классификации статей за счет использования информации из англоязычной части БО, т.е. включения в общий терминологический словарь английских слов.

Было сформировано три двуязычные (смешанные) выборки по 8 темам. Текстовые массивы прошли предварительную обработку, и далее были представлены в виде матрицы документ-термин. Исследования проводились методом центроидов (МЦ), методом К-ближайших соседей (К-БС) и наивным байесовским методом (НБ) [2]. Была исследована точность классификаторов, обученных на моноязычных (русскоязычных и англоязычных) и смешанных выборках при разных параметрах методов. В табл. 1 приведены средние ошибки классификации. В экспериментах количество ближайших соседей равнялось пяти ($k = 5$) и использовалась косинусоидальная мера близости [2].

Полученные результаты показывают, что применение смешанных выборок не позволяет улучшить точность рассмотренных методов. Для увеличения точности классификации необходимо искать новые подходы, позволяющие разрабатывать решающие правила, способные использовать при принятии решения дополнительную информацию, содержащуюся в смешанных выборках.

Таблица 1

Средние ошибки классификации

	К-БС, %	МЦ, %	НБ, %
Русскоязычная	9,33	9,66	11,00
Англоязычная	15,00	13,33	40,00
Смешанная	10,00	17,33	19,00

Литература

1. **Multilingual Information Management: Current Levels and Future Abilities.** A report Commissioned by the US NSF and the US DARPA. April 1999.
2. **Толчеев В.О.** Современные методы обработки и анализа текстовой информации: учебное пособие. М.: МЭИ, 2006.

В.Н. Новиков, асп.; рук. Д.Н. Анисимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ПД-РЕГУЛЯТОРА ОТ НАСТРОЕК НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА

Достаточно широкое распространение в системах автоматического управления сложными объектами получают регуляторы, использующие алгоритмы нечеткого логического вывода (нечеткие логические регуляторы, НЛР). В данной работе рассматривается НЛР, основанный на реляционных моделях и максиминном логическом базисе [1]. НЛР включается в замкнутый контур последовательно с объектом управления. В качестве примера выбран динамический объект, состоящий из интегратора и инерционного звена. На вход НЛР поступает сигнал рассогласования системы, выходом является управляющее воздействие на объект. На второй вход НЛР в качестве дополнительной информации о состоянии системы идет приращение сигнала рассогласования.

Было высказано предположение, что для такого НЛР эквивалентным линейным регулятором по смыслу (входная информация — постоянная составляющая и составляющая, близкая по смыслу к дифференцирующей) станет ПД-регулятор. Поэтому два параметра ПД-регулятора как эквивалентного оценивались специально разработанным и адаптированным методом экспоненциальной модуляции как параметры НЛР [2, 3]. Метод экспоненциальной модуляции основан на формировании специальных модулирующих функций экспоненциального вида, перемножении их на входной и выходной сигналы объекта и на вычислении площадей под образованными кривыми.

После ряда экспериментов были выявлены и проанализированы зависимости параметров эквивалентного ПД-регулятора от настроек НЛР, которые наиболее всего соответствуют концепции мягких вычислений — такие, как реляционная матрица, функции принадлежности входных и выходных переменных — с целью выявления их влияния на динамику заданной системы.

Литература

1. **Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я.** Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990.
2. **Анисимов Д.Н.** Идентификация линейных динамических объектов методом экспоненциальной модуляции // Вестник МЭИ. 1994. № 2. С. 68—72.
3. **Анисимов Д.Н., Мякинков Д.А.** Методика проведения эксперимента при идентификации нелинейных динамических объектов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №10. С. 45—50.

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ЗВЕНА КОМПЕНСАЦИИ ПО ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Многие современные работы рассматривают различные методики построения регуляторов, в том числе для многомерных систем. Однако увеличение сложности объектов часто ведет и к усложнению регуляторов, тогда как практика требует создания как можно более простых структур.

Поэтому отдельной проблемой является сокращение размерности исходной системы, что можно в частном случае рассмотреть как синтез звена, компенсирующего возмущающее воздействие. По сути, задача сводится к построению системы с частичной инвариантностью по одному из входов — возмущающему воздействию. Достижение инвариантности особенно интересно в условиях неизвестности математического описания исследуемого объекта, когда определение компенсатора производится на основе модели идентификации.

Рассматривая дискретные системы, при наличии результатов параметрической идентификации в матричной форме легко может быть восстановлено дискретное звено компенсации возмущающего воздействия. Но в связи с неточностью в оценивании параметров объекта при действии шума, особенно ощутимой при оценивании матрицы управления, такое звено может оказаться неустойчивым. Соответственно предлагается методика коррекции восстановленного компенсатора.

Поскольку первоначально необходимым результатом введения компенсатора всегда является устранение статической ошибки системы, при коррекции коэффициентов необходимо соблюдать равенство коэффициента усиления нового (скорректированного) компенсирующего звена и коэффициента усиления, полученного при изначальной идентификации. Компенсация в динамическом режиме достигается за счет динамических свойств восстановленного звена после коррекции коэффициентов, проводимой для обеспечения его устойчивости.

Таким образом, операция коррекции неустойчивого звена компенсации сводится к изменению коэффициента знаменателя при старшей степени в малом диапазоне для одновременного достижения двух условий: сохранения общего коэффициента усиления звена и перемещения корней звена в область устойчивости.

В результате, синтез и коррекция звена компенсации по модели идентификации позволяет практически устранить возмущающее воздействие на исследуемый объект, то есть сократить размерность исходной системы. Дальнейшее использование обсуждаемой методики компенсации как автоматизированного алгоритма, может значительно облегчить задачу построения регулятора.

*П.С. Панкратьев, асп.; рук. В.А. Шакиров, к.т.н., доц.
(БрГУ, г. Братск)*

ВЫБОР ПЛОЩАДКИ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО ГЭС В УСЛОВИЯХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОСТИ

Выбор створа гидроэлектростанции (ГЭС) представляет собой сложную проблему, в ходе решения которой необходимо учитывать многочисленные факторы: окружающей среды; экономические факторы; социально-экономические факторы; факторы здоровья и безопасности населения; факторы общественного мнения. Для каждого створа ГЭС должно быть намечено несколько вариантов уровней водохранилища, в ходе детальных многофакторных технико-экономических расчетов определен наилучший вариант ГЭС. Сложность процесса может быть существенно снижена, если на предварительной стадии исключить из анализа неперспективные площадки.

Альтернативы — площадки для строительства ГЭС, в данной проблеме не могут характеризоваться определенными количественными показателями по многим факторам. Например, оценку социально-экономических факторов удобно характеризовать описанием последствий строительства, сложно дать количественную оценку биологических воздействий строительства. Поэтому необходимо применить метод многокритериального анализа альтернатив, позволяющий осуществлять сравнение вариантов без их оценки по абсолютной шкале. Таким является метод анализа иерархий (МАИ) [1]. Метод использует специальную шкалу, с помощью которой альтернативы и критерии сравниваются между собой без необходимости получения точных количественных оценок.

Новизна в проведенном исследовании заключается в подходе к сравнению альтернатив в условиях многих критериев с применением метода МАИ. Особенностью задачи является то, что каждая альтернатива-площадка имеет дальнейшие возможные альтернативы второго уровня иерархии — варианты нормальных подпорных уровней водохранилища. Предложена методика для решения задачи в такой постановке.

Личный вклад автора заключается в разработке иерархии целей и критериев проблемы выбора площадки строительства ГЭС, разработке методики многокритериального сравнения альтернатив.

Предложенная методика многокритериального сравнения может быть использована в предпроектном анализе с целью определения наиболее предпочтительных мест для дальнейших, более детальных исследований.

Литература

1. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати: пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1993. — 316 с.

Б.Д. Попов, студ.; рук. М.Б. Коломейцева, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ, АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ ИСТОЧНИКОМ НАПРЯЖЕНИЯ В РАМКАХ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Для преобразования энергии нетрадиционных и возобновляемых источников (ветер, солнце, вода и др.) в электрическую и передачи ее потребителю характерно применение силовых электронных преобразователей частоты — инверторов. Перед использованием силовых преобразователей на электростанциях необходимо проведение испытаний системы выдачи мощности в целом.

В условиях отсутствия на испытательной площадке необходимой входной мощности, эквивалентной мощности генератора электростанции, а также нагрузки, которая данную мощность может потреблять, необходимо применение специальных схем, обеспечивающих возможность прохождения тока определенной силы через электронные преобразователи. Одной из схем, позволяющих провести указанные испытания, является схема, при которой ток, проходящий через инвертор, поступает на трехфазный выпрямитель и соединяется с шиной постоянного тока (DC-шина), которая соединена с входом инвертора. Таким образом формируется кольцо. На ту же DC-шину поступает управляемое выпрямленное входное напряжение, берущееся из промышленной трехфазной сети. Фактически входная мощность позволяет поддерживать ток в кольце, покрывая все потери, которые существуют в элементах испытываемого оборудования.

Входное напряжение управляется с помощью импульсного источника напряжения — понижающего DC-преобразователя (buck-chopper).

Автором была разработана имитационная модель процесса с помощью ППП MatLab/Simulink и toolbox SimPowerSystems. С помощью данной модели были выбраны параметры всех пассивных устройств схемы. Была разработана система управления входным DC-преобразователем.

С помощью имитационного моделирования была подтверждена работоспособность испытательной схемы и системы управления. По результатам моделирования, при входной мощности 24 кВт, возможно создать и удержать в кольце мощность порядка 700 кВт. Также автором в среде Altium Designer были разработаны печатные платы, реализующие систему управления DC-преобразователем. В качестве управляющего элемента использовался DSP процессор фирмы Texas Instruments — C2000. Кроме того, были успешно проведены указанные испытания, подтверждающие работоспособность всего испытательного стенда в целом.

Е.А. Родионова, студ.; рук. С.А. Хризолитова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СТРУКТУРНАЯ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ САУ

Вопросы идентификации динамических объектов является одними из основных направлений современной теории управления.

Практически все реальные системы управления содержат один или несколько нелинейных элементов (НЭ), которые вносят в систему ряд новых качественных особенностей по сравнению с линейной системой. Количество нелинейных элементов, их типы, а также места включения могут быть разнообразными. Наличие НЭ в системе значительно затрудняет ее исследование. Особенно усложняется поведение системы в тех случаях, когда поведение описывается нелинейным дифференциальным уравнением высокого порядка. Поскольку точные значения параметров нелинейных элементов можно определить только на реальном объекте, становится актуальна задача идентификации вида, параметров и места включения НЭ.

При изучении нелинейных САУ почти всегда лежит следующее допущение: предполагается разделение САУ на линейную и нелинейную САУ (используется модель Гаммерштейна или Винера). На практике реальным системам характерно чередование линейных и нелинейных звеньев, следовательно, место включения нелинейности имеет значительное влияние на характеристики модели в целом.

Основной целью работы является изучение идентификации сложных нелинейных систем, исследование влияния типовых НЭ на динамику САУ по частотным характеристикам. В качестве основного метода исследования был выбран метод гармонической линеаризации с использованием логарифмических характеристик [1].

В результате проведенных исследований влияния вида, места включения и параметров нелинейных элементов на логарифмические характеристики системы в целом позволили выявить некоторые закономерности. При разбиении частотной характеристики системы на три диапазона (низкие, средние и высокие частоты) можно по поведению системы в каждом из них произвести структурную и параметрическую идентификацию нелинейных САУ.

Литература

1. **Вавилов А.А.** Частотные методы расчета нелинейных систем. М.: Энергия, 1970.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ МЯГКОГО ПУСКА СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОВЕДЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ППП «MATLAB/SIMULINK»

В условиях быстрого развития промышленности большое значение приобретают работы, связанные с повышением качества и улучшением технико-экономических показателей выпускаемых электрических машин и систем управления, связанных с ними [1]. Появление бросков пусковых токов в обмотках двигателя является серьезной проблемой, приводящей в итоге к ограничению числа возможных пусков и износу двигателя [2]. Системы управления пуском двигателя, при правильном их проектировании, способны существенно продлить срок службы устройства и улучшить качество питающей сети на протяжении всего пуска.

Мощным инструментом при проведении исследований является моделирование процессов. Этот подход был использован в данной работе. Были разработаны математические модели синхронного двигателя и спроектированы системы управления пуском, реализующие метод квазичастотного пуска и пуск с применением тиристорного регулятора напряжения (ТРН) [3]. Приведены результаты исследования способов мягкого пуска синхронных двигателей, их сравнение, анализ поведения питающей сети при пуске, вхождение двигателей в синхронизм.

Разработанные модели позволяют:

- проводить моделирование процессов, происходящих в двигателе при пуске;
- исследовать влияние параметров двигателя на время пуска при наперед заданных показателях качества;
- исследовать поведение питающей сети во время пуска;
- исследовать процесс вхождения двигателей в синхронизм с сетью.

Данные модели могут быть использованы для проведения научных исследований, а также в качестве моделей реальных объектов, на которых могут быть отработаны все рабочие режимы двигателя (разгон — работа на определенной частоте вращения — останов) и аварийные ситуации.

Литература

1. **Иванов-Смоленский А.В.** Электрические машины. – М.: Издательство МЭИ, 2006. – 652 с.
2. **Шихин А.Я., Белоусова Н.М., Пухляков Ю.Х., Сергеев В.Г.** Электротехника. — М: Высшая школа, 1991 — 336 с.
3. **Черный А.П., Гладырь А.И.** Пусковые системы нерегулируемых электроприводов: Монография. Кременчуг, 2006. — 280 с.

В.А. Фадеев, асп.; рук. В.А. Шакиров, к.т.н., доц. (БрГУ, г. Братск)

ПОДХОД К АНАЛИЗУ ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ РАЙОНА

Электроэнергетика — базовая отрасль экономики России. Для комплексного развития энергетики страны в 2009 году была принята энергетическая стратегия развития России до 2030 года. При реализации каждого конкретного проекта остро встает проблема выбора оптимального варианта развития энергетики района. Формализовать эту проблему можно в виде слабоструктурированной системы.

Использовать подходы имитационного моделирования, ориентированные на использование количественных объективных оценок, методы традиционной теории принятия решений, реализующие выбор лучшей альтернативы из множества четко сформулированных альтернатив, а также методы сценарного анализа при принятии решений в таких системах не эффективно [1].

Автором предлагается анализ этой слабоструктурированной системы на основе когнитивного моделирования. В анализе слабоструктурированных систем когнитивные карты представляют собой разновидность математических моделей. Проблема или сложная система формализуется в виде множества факторов, которые отображают ее системные переменные. Также выявляются причинно-следственные отношения между факторами с учетом воздействия на эти факторы или изменения характера отношений.

Эффективность использования когнитивной карты в качестве модели слабоструктурированной проблемы и сложной системы обусловлена: возможностью наглядного представления анализируемой проблемы или системы; отсутствием необходимости предварительной спецификации факторов и отношений влияния; конструктивностью, наглядностью и относительно легкой интерпретации с их помощью причинно-следственных связей между факторами; возможностью интеграции результатов анализа с методами многокритериальной оценки [2].

Предлагаемый подход позволяет формализовать проблему выбора оптимального варианта развития энергетики района.

Литература

1. **Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н.** Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. М.: Синтег, 2004.
2. **Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С.** Нечеткие модели и сети. — М.: Горячая линия–Телеком, 2007.

*М.Н. Цветков, А.В. Крахмаль, аспиранты;
рук. А.А. Ткаченко, к.т.н., зав. тех. отд. (ТУСУР, г. Томск)*

ПРОТОКОЛЫ ОБМЕНА СИСТЕМЫ ИМИТАТОРОВ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ТЕРМОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ СПУТНИКОВ

Условия, в которых работают спутники, существенно отличаются от тех, в которых они создаются. Для обеспечения бесперебойного функционирования аппарата в течение активного срока существования необходимо проведение большого количества испытаний, использующих специальные комплексы, имеющие возможность создавать условия, приближенные к эксплуатационным [1]. Техническое обеспечение процесса испытаний (термовакuumных) включает в себя ряд основных систем: криогенную, вакуумно-откачную, имитаторы солнечного излучения и тепловых потоков.

Система имитаторов тепловых потоков состоит из следующих устройств:

- блок подвода мощности (прецизионный);
- устройство измерения температуры (прецизионное).

Архитектура разработанной системы позволяет работать в автономном или дистанционном режимах. Связующим звеном между рабочим местом оператора и устройствами служит сервер, обеспечивающий работу с базами данных испытаний.

В докладе рассматриваются особенности применения стандартизованных протоколов обмена [2] по интерфейсу RS-232/RS-485, а также обмен информацией в ЛВС на основе технологии Ethernet [3]. Производится анализ применимости протоколов по основным критериям.

На данный момент две системы имитаторов тепловых потоков прошли приемосдаточные испытания у заказчика и приняты в эксплуатацию. Системы включают в себя стойки стандарта 17 дюймов (12 шт.): блоки подвода мощности, блоки подвода мощности прецизионные, устройство измерения температуры, устройство измерения температуры прецизионное.

Литература

1. **Комплексные** испытания космических аппаратов // Информационные спутниковые системы: электронный журнал. 2010, № 11. С. 16—21 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.iss-reshetnev.ru/images/File/magazin/2010/m11-screen.pdf> (дата обращения: 10.08.2012)/
2. **Modbus** Application Protocol Specification V1.1b // Modbus Organization. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.modbus.org/> (дата обращения: 15.09.2011).
3. **Руководство** по технологиям объединенных сетей. 4-е изд.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 1040 с. ISBN 5-8459-0787-X (рус.).

*С.Ф. Четвериков, асп.; рук. В.Ф. Осинин, д.ф.-м.н., проф.
(ЛГТУ, г. Липецк)*

О ПЕРСПЕКТИВАХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАУЗ МЕЖДУ ВЫБРОСАМИ ОГИБАЮЩЕЙ ПОЛЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ОНЧ-РАДИОШУМОВ

Возникающие в результате грозовых разрядов электромагнитные импульсы могут вызывать искажения в электрических сетях, ошибочные переключения при передаче сигнала при импульсно-кодовой модуляции и в микропроцессорных системах управления. Для защиты от такого рода воздействий необходимо правильно оценить возможные нарушения, для чего требуется знание мощности и количества проходящих грозовых импульсов. Однако для этого обычно используются данные, опирающиеся на среднегодовое количество ударов молний в рассматриваемой местности, что не позволяет учитывать постоянно меняющуюся грозовую активность [1]. Поэтому задача разработки и создания информационно-измерительной системы контроля пауз между выбросами огибающей поля естественных ОНЧ-радиошумов, является крайне актуальной и требует глубоких экспериментальных и теоретических исследований.

Научная новизна заключается в разработке алгоритмов функционирования информационно-измерительной системы для контроля пауз между выбросами огибающей поля естественных ОНЧ-радиошумов минимизирующих ошибки измерения интенсивности поля и потока радиоимпульсов с возможностью непосредственной калибровки, поверки и настройки системы методом замещения на базе нормального шума.

Идея работы состоит в использовании и развитии математических методов для описания узкополосного случайного процесса — атмосферного радиошума на основе анализа распределений вероятностей и среднего числа выбросов огибающей напряженности поля, измеренных в ОНЧ динамическом диапазоне, с последующим определением параметров потока, пауз между выбросами огибающей грозовых радиоимпульсов, проходящих к антенне.

На основании разработанных методов измерения и обработки экспериментальных данных создаётся информационно-измерительная система контроля пауз между выбросами огибающей поля атмосферных радиопомех, позволяющая оценить воздействия мировых грозовых ударов на линии электропередач, компьютерные системы и радиоустройства.

Литература

1. **Подлесных Д.** Грозовые радиоимпульсы. Методы контроля и прогнозирования. [Текст] / Д. Подлесных, В. Осинин // LAMBERT Academic Publishing - Saarbrücken. 2011.

*А.А. Яблоков, асп.; рук. Ю.С. Тверской, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ МАНЕВРЕННОСТИ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС

Стратегия развития атомной энергетики России предусматривает доведение мощности АЭС до 50 тыс. МВт. С ростом доли АЭС в общей структуре генерирующих мощностей неизбежны трудности в несении суточного графика нагрузки. Основная проблема энергоблоков АЭС связана с их низкой маневренностью. АЭС обладают ограниченными возможностями изменения мощности энергоблоков, особенно в оперативном режиме. В таких условиях нужны технические решения проблемы маневренности АЭС, при которых технологические ограничения сводятся до минимума для безопасности и экономичности АЭС в маневренных режимах [1].

В настоящей работе проведены исследования повышения маневренности энергоблока АЭС за счет частичного закрытия отбора пара паровой турбины в подогреватели высокого давления.

Для проведения исследования были разработаны математическая и имитационная модели второго контура энергоблока АЭС, включающие модели паровой турбины, конденсаторных групп, смешивающих подогревателей, поверхностных подогревателей низкого и высокого давлений, деаэрационной установки с соответствующими системами регулирования.

На первом этапе исследования на имитационной модели была проведена серия экспериментов по определению максимально допустимого закрытия отбора паровой турбины. При закрытии отбора турбины температура питательной воды на выходе системы регенерации понижается, поэтому отбор необходимо закрывать не полностью, а лишь на такую величину, при закрытии на которую температура питательной воды останется допустимой.

На втором этапе исследования была определена эффективность частичного закрытия регулирующего органа на отборе пара в ПВД-7 при переходе с мощности 800 МВт на мощность 825, 850, 875, 900 МВт.

Частичное закрытие отборов паровой турбины при переходе на новое значение мощности, позволяет увеличить скорость набора мощности при допустимых изменениях параметров питательной воды, идущей в парогенератор.

Литература

1. **Стратегия развития** атомной энергетики России в первой половине XXI века. Иллюстрация основных положений. – М.: ФГУП «ЦНИИатоминформ», 2001. — 64 с.

Секция 20

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Председатель секции — зав. каф. ЭФ, к.т.н., профессор

Ю.А. Казанцев

Секретарь секции — к.т.н., доцент С.В. Вишняков

А.В. Борляков, соиск.; рук. В.М. Геворкян, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ УСТРОЙСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ БЫСТРЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Развитие электроэнергетического комплекса ставит задачи обнаружения потенциально опасных переходных процессов в момент их развития для обеспечения своевременного включения УЗО и предотвращения возможных порчи оборудования и убытков. Переходные процессы в сети питания могут быть вызваны как природными явлениями (удар молнии), так и коммутационными процессами и лежат в полосе частот от десятков герц до нескольких десятков мегагерц, что подтверждается рядом исследований, проведенных ОАО «Электростанция».

В настоящее время на рынке предложений отсутствуют специализированные устройства обнаружения и измерения подобных процессов на стороне высокого потенциала и в условиях сильных электромагнитных помех.

Для защиты от электрического поля высоковольтной линии измерительное устройство необходимо поместить в электростатический экран. Воздействие магнитного поля на измерительное устройство можно оценить в зависимости от его взаиморасположения с силовым проводом.

Можно показать, что при симметричном расположении измерительного устройства относительно силового провода суммарный поток через площадь его сечения будет равен нулю. При несимметричном взаимном размещении их напряжение, создаваемое переменным магнитным полем на входных зажимах измерительного устройства, не должно превышать допустимого $\Delta U_{\text{доп}}$, которое оценивается в соответствии с законом об электромагнитной индукции Фарадея как максимальное наведенное напряжение в замкнутом контуре площадью S :

$$S_m = \frac{U_{\text{доп}} h}{\mu_0 J_m f}. \quad (1)$$

Так, при расположении измерительного устройства на расстоянии 0,1 м от силовой линии 3 кА промышленной частоты 50 Гц и при $\Delta U_{\text{доп}} = 150$ мВ оценочная максимальная площадь сечения измерительного устройства не должна превышать примерно $0,08 \text{ м}^2$, что соответствует размерам современных средств обработки сигналов.

С.И. Герасимов, асп.; рук-ли И.Н. Желбаков, д.т.н., проф.;
В.А. Новиков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ ДЛЯ ЖИДКИХ СРЕД С НАКЛАДНЫМИ ПЕРВИЧНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Ультразвуковая расходометрия на сегодняшний день является успешно развивающейся областью [1] расходометрии в целом, появляется множество новых моделей как за рубежом, так и в России.

Большинство ультразвуковых расходомеров [2], применяемых в промышленности, основаны на времяимпульсном методе [3] (т.н. «TransitTime») и его модифицированной разновидности — с применением технологий кодирования акустических сигналов и последующей их корреляционной обработкой (в зарубежных источниках упоминается как кросс-корреляционный метод [4]). В рамках данного доклада ограничимся рассмотрением вышеуказанных типов ультразвуковых расходомеров.

Разработчику новых изделий этого класса и, возможно, потребителю необходимо иметь возможность сопоставить характеристики существующих приборов. Однако в действительности у разных производителей они представляются не совсем одинаковым образом. Так, например, отечественные производители обычно нормируют погрешность измерения расхода жидкости, в то время как зарубежные производители ограничиваются нормированием погрешности измерения скорости потока жидкости. В свою очередь, погрешность указывается в относительной или приведенной форме. Помимо этого, разные производители декларируют различные наборы жидкостей и различное количество примесей для приборов, а погрешность является одинаковой вне зависимости от указанного количества их содержания в жидкости.

В докладе дан анализ основных метрологических характеристик приборов рассматриваемого типа от различных производителей, предложена структура приведения к общему виду указанных характеристик с целью их сравнения.

Литература

1. **Гришанова И.А., Покрас С.И., Покрас А.И.** Ультразвуковая расходометрия: дорогая экзотика или современный метод измерения // Датчики и системы. 2005. № 5. С. 17—21.
2. **Громов Г.В., Озеров А.В., Шафрановский М.Н.** Бесконтактные методы измерения расхода жидкости в напорных и безнапорных трубопроводах // Мир измерений. 2004. № 1. С. 4—8.
3. **Мясников В.И.** Ультразвуковые методы измерения расхода жидкостей // Мир измерений. 2004. № 1. С. 9—12.
4. **Пат. США № 4787252, 29.11.1988.** Differentialcorrelationanalyzer / S.A. Jacobson, L.C. Lynnworth, J.M. Korba.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ТРЕХТОЧЕЧНОГО АЛГОРИТМА ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОСТОЯННОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Изучаемый трёхточечный алгоритм основан на измерении мгновенных значений $i(t_i)$ переходного процесса (ПП) сигнала в измерительной цепи цифрового прибора (ИЦ) в три момента времени. Расчёта асимптоты ПП, например, асимптоты рабочего тока \tilde{I}_0 во входной цепи цифрового омметра при измерении активного сопротивления обмотки силового трансформатора [1, 2], проводится на основе мгновенных значений $i(t_1)$, $i(t_2)$, $i(t_3)$, полученных в соседние моменты времени $t_1 = t$; $t_2 = t + \Delta t$; $t_3 = t + 2\Delta t$:

$$\tilde{I}_0 = \left[i^2(t_2) - i(t_1)i(t_3) \right] / \left[2i(t_2) - (i(t_1) + i(t_3)) \right].$$

Применение данного алгоритма обеспечивает максимальное быстродействие получения результата измерения, поскольку возможно вычисление оценки уже по первым трем отсчетам ПП. Однако в технической литературе недостаточно освещены вопросы исследования точности такого рода алгоритмов и отсутствуют рекомендации для принятия обоснованных решений по их практическому построению.

В работе исследовано влияние на погрешность оценки следующих независимых переменных алгоритма: интенсивности и вида функции распределения шума квантования ПП на входе алгоритма; относительной длительности интервала обработки и расположения отсчетов на нём; кратности интервала обработки (порядка алгоритма) минимальной дискретности сдвига отсчетов.

Численное моделирование алгоритма позволило выявить область значений параметров алгоритма, влияющих на работоспособность трёхточечного алгоритма, а также определить связь между параметрами алгоритма с максимальной и средней погрешностями оценки асимптоты и её зависимость от шума квантования.

Литература

1. **Мелентьев В.С.** Методы и средства измерения параметров электрических цепей на постоянном токе. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2004. – 120 с.
2. **Желбаков И.Н., Лупачёв А.А., Тан Тайк У.** Анализ быстродействующего алгоритма измерения сопротивления для диагностики силовых трансформаторов. Метрология. 2010. № 9. С. 15—26.

А.С. Игнатов, асп.; рук. П.Г. Круг, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ВИДЕОКАМЕР ДЛЯ ПОДСЧЕТА, ИДЕНТИФИКАЦИИ И ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ

В настоящее время в крупных городах актуальна проблема автомобильных пробок. Одним из способов решения этой проблемы является применение систем интеллектуального управления дорожным движением [1].

Системы интеллектуального управления могут быть построены на основе интеллектуальных видеокамер (ИВК) и контроллеров светофоров. Камеры используются для подсчета автомобилей и обладают по сравнению со счетчиками другого типа важным преимуществом — с помощью камер возможно решение ряда дополнительных задач, связанных с улучшением обстановки на дороге [2].

В докладе рассмотрена возможность использования ИВК [3], применяющихся в подобных системах управления, для выполнения задач измерения скорости автомобилей и их идентификации. Эти задачи могут выполняться параллельно с основной задачей камер с помощью отдельных программных модулей.

С учетом специфики этих задач сформулированы основные требования, предъявляемые к выбору зоны наблюдения камеры и к выбору параметров ИВК. Разработана методика установки камеры и внесения в программное обеспечение калибровочных констант. Предложены основные принципы реализации измерения скорости и распознавания номерного знака.

Сделан вывод, что расширенный круг задач ИВК, как правило, не ведет к значительному росту стоимости камеры и аксессуаров и не вызывает необходимости более сложной установки камеры. С другой стороны, реализация этих функций обладает широкими перспективами как в плане оптимизации загрузки дорог, так и для обеспечения безопасности дорожного движения.

Литература

1. **Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б.** Технические средства организации дорожного движения: учебник для вузов. – М.: ИКЦ «Академ-книга», 2005. – 279 с.
2. **Круг П.Г., Ткачук Г.В.** Распознавание видеобразов, содержащих алфавитно-цифровые символы. Информационные средства и технологии: Труды межд. научно-техн. конф. в 3-х т. Т. 2. М.: МЭИ, 2007.
3. <http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/smart-camera-79221.html>. Список производителей смарт камер на основе данных ресурса directindustry.com.

*И.О. Ковцова, асп.; рук. В.И. Ухов, к.ф.-м.н., доц.
(МУПОЧ «Дубна», г. Дубна)*

ПО «СЧЕТЧИК» ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

В докладе рассматриваются основные принципы разработки программного обеспечения для цифрового счетчика. Счетчик — интеллектуальное электронное устройство (*IED*), являющееся одним из важнейших элементов цифровой подстанции и предназначенное для измерения расхода электроэнергии.

Цифровая подстанция — это новая парадигма в автоматизации объектов электроэнергетики, где вся информация переводится в цифровой формат на уровне интеллектуального первичного оборудования (оптические трансформаторы тока и напряжения, интеллектуальные выключатели), и далее данные в таком виде передаются вторичному интеллектуальному микропроцессорному оборудованию (микропроцессорные устройства РЗ и автоматики, многофункциональные приборы измерений и учета). Взаимодействие осуществляется посредством единого стандартного протокола обмена информацией — IEC 61850 (МЭК 61850).

Оптические трансформаторы осуществляют измерение мгновенных значений тока и напряжения, их оцифровку и высокоскоростную передачу данных по оптическим каналам связи по протоколу МЭК 61850-9-2 LE [1]. Измеренные мгновенные значения получают различные интеллектуальные электронные устройства. Одним из таких устройств является счетчик электрической энергии.

Счетчик, используя мгновенные значения тока и напряжения (12 800 срезов мгновенных значений в секунду по трем фазам и нейтрали), рассчитывает секундный профиль, который является основным источником телемеханических данных в SCADA-системах. А на основе секундных значений вычисляются показания счетчика и рассчитываются минутные, полчасовые, суточные и месячные архивы.

Неотъемлемым и наиболее важным является детализация данных, а именно их статус или качество. Обработка и выставление статуса осуществляются на основе разработанных алгоритмов. Качество данных описывается в третьем разделе седьмой части стандарта (IEC 61850-7-3) [2]. Разработанное программное обеспечение прошло стендовые испытания и сейчас готовится к установке на объекте.

Литература

1. **IEC 61850-9-2.** Communication networks and systems for power utility automation. Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) — Sampled values over ISO/IEC 8802-3.
2. **IEC 61850-7-3.** Communication networks and systems in substations: Basic communication structure for substation and feeder equipment — Common data class.

С.В. Копейкин, асп.; рук. П.Г. Круг, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

При анализе методов измерений спектрального состава напряжений (ССН) на первый план выступают исследования по выявлению оптимальных параметров алгоритмов обработки сигналов (скорости их работы, объёмов требуемой памяти и погрешности конечного результата).

На сегодняшний день в условиях дефицита энергетических ресурсов активно развиваются методики оценки качества вырабатываемой электроэнергии. В РФ принят ГОСТ 51317.4.30, регламентирующий показатели качества электроэнергии (ПКЭ) и способы их измерения. Исследования показали, что измерение ССН является наиболее ресурсоёмкой задачей при анализе ПКЭ, что подчёркивает актуальность представленной работы.

Можно выделить как классические, так и альтернативные методики анализа ССН. Определены основные параметры методов измерения. Результатом исследований является сравнительная характеристика следующих алгоритмов вычисления ССН: БПФ с учетом передискретизации входного сигнала; метод Уэлча с различной шириной временного окна; параметрические методики на основе АР-модели первого порядка.

На основе результатов сравнительного анализа методик выявлены возможные варианты реализации структур измерителей ПКЭ и приоритетные направления экспериментальных исследований приборов данного класса.

В результате исследований разработана модификация существующей методики спектрального анализа ССН. На её основе создана новая структура измерителя ПКЭ, отличающаяся от существующих простотой технической реализации, и, как следствие этого, низкой себестоимостью прибора при улучшенных метрологических характеристиках.

Литература

1. **Скляр Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М.:СПб.; Киев, 2003.
2. **Кривошеев В.И.** Современные методы цифровой обработки сигналов (цифровой спектральный анализ). Нижний Новгород, 2006.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ ANDROID И IOS В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Уровень развития и распространения различных современных мобильных устройств (смартфонов и т.п.) на сегодняшний день достаточно высок, в связи с чем, естественно, возникает интерес к интеграции таких устройств в различные сферы деятельности современного общества, в частности в систему образования. Это действительно весьма актуальная задача, если учитывать, что мобильные устройства стали практически неотъемлемым атрибутом современной молодежи (и не только молодежи).

Данная работа посвящена вопросам разработки информационных приложений для двух наиболее мощных и популярных мобильных платформ Google Android и Apple iOS.

Следует сразу отметить, что в процессе обучения очень важно определить способ и форму подачи материала. Безусловно, каждый человек воспринимает информацию по-разному, но все способы сводятся к наглядности. Графика воспринимается лучше, чем обычный текст, и значительно повышает эффективность восприятия информации (до 89 % по данным исследований). Текст размещается на рисунках, к которым он относится, а не под ними или на соседней странице. Кроме того, такой способ подачи материала максимально схож с прогрессивным методом проведения лекций с помощью показа слайдов, к которому прибегают все больше преподавателей, отходя от классического чтения лекций.

Таким образом, задача проектирования приложения с лекционным материалом сводится к задаче проектирования приложения для удобного просмотра графических изображений. В процессе разработки необходимо учесть возможности API рассматриваемых платформ, паттерны проектирования интерфейсов и более специфические факторы, такие, как, например, положения в Apple HiG.

Приложение для платформы Google Android должно состоять из двух экранов, первый — для навигации по лекциям курса, второй — для просмотра картинок по одной лекции. Первый экран должен состоять из одного двустрочного списка (виджет ListView), второй — из двух виджетов GalleryView для навигации по всем картинкам лекции и просмотра одной картинки (наподобие навигации по слайдам в Microsoft Office PowerPoint).

Приложение для Apple iOS должно состоять из трех представлений, первое строится по аналогии с первым экраном для Android, второе — просмотр всех картинок одной лекции (виджет UICollectionView), третье — просмотр одной картинки с возможностью перехода на соседние (виджеты UIImageView и UIButton). Обратная навигация должна присутствовать в последних двух представлениях.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТОЧНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ СЖАТИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В настоящее время в повседневной жизни человек оперирует большими объемами графической информации (изображений и видео) как для развлечения, так и для определенных видов работ. Объемы графической информации очень велики, именно поэтому и на сегодняшний день особенно актуальна разработка алгоритмов сжатия графической информации. Существующие методы сжатия графической информации с потерями основаны на блочных технологиях кодирования, которые имеют существенный недостаток — блочный эффект [01].

Очевидно, что для видео реальное движение в кадре не является ни ступенчатым, ни блочно-постоянным. Модель, наиболее близкая к реальному движению, должна рассматривать изображения и видео как наборы объектов, которые для видео будут изменяться за счет деформирования объектов сетки и добавления новых объектов к уже существующим. Представление графической информации в виде сетки, в свою очередь, может дать более гибкий и удобный подход к оценке и компенсации движения в видео, чем существующие блочные методы [3]. Идея сжатия сеточным методом состоит в том, чтобы представить изображение набором значимых точек, а восстановление изображения производить, выделяя с помощью триангуляции Делоне полигоны, в которых и будет происходить интерполяция цвета «значимых точек» [4].

В докладе представлен метод сжатия изображений и видео с помощью сеточного представления, базирующегося на триангуляции Делоне [2], а также даны оценки степени сжатия, качества изображения и времени работы алгоритма.

Сеточное представление графической информации применимо не только в видео для ее сжатия, но и в таких областях, как создание 3D объектов на базе 2D изображений, рендеринг 3D-объектов и т.д.

Литература

1. **Дворкович В., Чобану М.** Проблемы и перспективы развития систем кодирования динамических изображений // MediaVision. 2011. № 2. С. 55—64.
2. **Скворцов А.В.** Триангуляция Делоне и ее применение — Томск: Изд-во ТГУ, 2002.
3. **Vianney Munoz-Jimenez, Anissa Mokraoui, Jean Pierre.** Astrunc Adaptive hietarchical grid motion estimation algorithms for video coding application at low bit-rate communication // ISSPA 2010.
4. **Demaret L., Iske A.** Anisotropic Triangulation Methods in Adaptive Image Approximation// <http://www.math.uni-hamburg.de/home/iske/papers/a4a6.pdf>.

Г.И. Лесников, студ.; рук. В.В. Краюшкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО WEB-КОНСТРУКТОРА ДЛЯ РИСОВАНИЯ И РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

В последнее время в связи с развитием интернет-технологий наряду с традиционным обучением успешно развивается и дистанционное.

В данной работе рассматриваются вопросы виртуализации учебной электротехнической лаборатории, иными словами, вопросы разработки программной среды, позволяющей провести исследование различных физических явлений в области электротехники, подготовку и проведение лабораторных работ без непосредственного доступа к лабораторному стенду. Такой виртуальный эксперимент может быть доступен широкому кругу пользователей и практически не ограничен по времени в отличие от его физического аналога.

Работа посвящена вопросам создания виртуального web-конструктора, предназначенного для рисования и расчета электрических схем и, по сути, является развитием работ, описанных в [1].

Рассматриваемый web-конструктор представляет собой виртуальный лабораторный стенд, позволяющий создавать изображение («рисовать») электрической схемы и сразу рассчитывать токи напряжения в заданных узлах и ветвях. На данный момент такой стенд позволяет работать с цепями любой сложности и поддерживает работу со следующими элементами: соединительный проводник, резистор, амперметр, вольтметр и источник ЭДС. Для более точного и удобного рисования все проводники, а также двухполюсники имеют привязку к невидимой координатной сетке. Для создания двухполюсников, так же как и для проводников, используются «горячие клавиши».

Все нарисованные схемы и результаты их расчетов можно записать в базу данных с последующим вызовом их на экран и возможностью модификации электрической схемы. В качестве технологии обеспечивающей работу рассматриваемого web-конструктора, используется web-технология LAMP (Linux-Apache-MySQL-PHP), а программирование самого конструктора осуществляется на Adobe Flash.

Рассмотренные в докладе подходы к разработке и использованию различных элементов виртуальной электротехнической лаборатории представляются весьма актуальными, особенно в контексте смещения учебной нагрузки в сторону самостоятельной работы студентов.

Литература

1. **Жохова М.П., Краюшкин В.В., Лесников Г.И.** Виртуализация учебной электротехнической лаборатории: Труды международной научно-методической конференции ИНФОРИНО—2012.

Д.В. Макаров, студ.; рук. М.К. Чобану, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОРНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ СЖАТИЯ МНОГОМЕРНЫХ СИГНАЛОВ

В настоящее время в сетях ЭВМ хранится, передается и обрабатывается огромное количество информации. Большая доля этой информации приходится на видео, например, в видеотелефонии и видеоконференцсвязи, потоковое видео в Интернете и беспроводных сетях 3G, ТВ повышенной четкости.

Требования к качеству видео постоянно растут, к тому же все больше прослеживается тенденция к использованию удаленных видеосерверов (например, *YouTube*), что ведет к значительной нагрузке канала связи и к увеличению хранилища данных (на сервере). Поэтому владельцы серверов и пользователи заинтересованы в применении сжатия для эффективного использования каналов передачи данных и оборудования хранения информации [1].

С появлением новых типов контента (трехмерное телевидение, мультимедийное видео и т.д.) возникла проблема эффективного представления и сжатия многомерного сигнала [2].

Был применен метод *TT* (*tensor-train decomposition* [3]), используемый для аппроксимации тензоров (многомерных массивов), и его модификация *WTT* (*wavelet tensor-train* [4]) для сжатия изображений. Тензорные аппроксимации применяются в линейной алгебре для компактного представления данных большой размерности и для ускорения вычислений.

Показана эффективность данного подхода, и проведено сравнение с современными методами сжатия изображений JPEG и JPEG2000.

Практическое применение данного подхода возможно в случаях, когда требуется хранить либо передавать большие объемы информации. Например, системы видеонаблюдения (требуется хранить длительное время большой объем видеoinформации), сжатие изображений высокого разрешения (больше 2048 пикселей), работа с картами местности.

Литература

1. Дворкович В., Чобану М. Проблемы и перспективы развития систем кодирования динамических изображений // *MediaVision*. 2011. № 2. С. 55—64.
2. Чобану М. Многомерные многоскоростные системы обработки сигналов. — М.: Техносфера, 2009. — 480 с.
3. Oseledets I. V., tensor-train decomposition // *SIAM J. Sci. Comput.* 2011. Vol. 33. No. 5. P. 2295—2317.
4. Oseledets I. V., Tyrtyshnikov E. E. Algebraic wavelet transform via quantics tensor train decomposition: Preprint 2010-03. М.: INM RAS, 2010.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ФОРСИРОВАНИЯ ТОКА ЦИС

Классический алгоритм измерения активного сопротивления обмотки силового трансформатора (СТ), основанный на принципе ожидания окончания переходного процесса (ПП) во входной измерительной цепи (ИЦ) цифрового измерителя сопротивления (ЦИС) до допускаемой динамической погрешности $\epsilon_{\text{дин}}$, реализуется в настоящее время в большинстве моделей ЦИС. Однако данный принцип приводит к значительным временным затратам на получение результата измерения, которые наряду со снижением эксплуатационных показателей автономных приборов, приводят к потере точности из-за нагрева обмотки, а также к низкой производительности диагностики СТ.

Этот недостаток частично устраняется в ряде приборов, если используется принцип форсирования рабочего тока ИЦ [1].

Уменьшение времени T_I установления рабочего тока I_0 осуществляется за счёт управления напряжением источника, который обеспечивает повышение тока в ИЦ до значения $I_{\text{ф}}$ — значения рабочего тока в режиме форсирования. Коэффициент $\lambda = I_{\text{ф}}/I_0$ форсирования тока является главным параметром данного алгоритма.

Длительность составного ПП при этом определяется по выражению:

$$T_I = \tau \{ \ln[\lambda/(\lambda - 1 + \delta_{\text{ф}})] + v \},$$

где $\delta_{\text{ф}}$ — относительная погрешность установки тока в момент выключения форсирования тока; τ — постоянная времени ИЦ; $v = \delta_{\text{ф}}/\epsilon_{\text{дин}}$.

Наибольший прирост эффективности на единицу роста параметра наблюдается при изменении λ от 1,1 до 2. Граничное значение $\lambda_{\text{гр}} = 2$ характерно ещё и тем, что при больших значениях λ неправильный выбор продолжительности времени форсирования тока приводит к изменению знака погрешности $\delta_{\text{ф}}$. Анализ T_I показывает, что минимальное время установления рабочего тока соответствует случаю окончания режима форсирования тока в зоне допускаемой динамической погрешности, при котором $\delta_{\text{ф}} = \epsilon_{\text{дин}}$.

Таким образом, только управление моментом окончания режима форсирования по отклонению текущего сигнала ПП в ИЦ от заданного уровня I_0 , обеспечивает минимальную длительность переходного процесса.

Литература

1. Мелентьев В.С. Методы и средства измерения параметров электрических цепей на постоянном токе. — Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2004. — 120 с.
2. Лупачёв А.А., ТанТайк У. Анализ метрологических характеристик микроомметров для диагностики силовых трансформаторов / Моск. энерг. ин-т (ТУ). М., 2010. 66 с. Деп. в ВИНТИ 20.10.10 № 604-В2010.

*М.А. Мастепаненко, асп.; рук. И.Н. Воронников, к.т.н., доц.
(ФГБОУ ВПО Ставропольский ГАУ, г. Ставрополь)*

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТЕЙ

Контроль уровня различных жидкостей играет важную роль при автоматизации технологических процессов (ТП) во многих отраслях промышленности. Для измерения уровня жидкостей применяются различные методы и приборы (поплавковые, гидростатические, омические, емкостные, термические, акустические, радиоизотопные и другие). Возможности применения этих методов определяются технологическими требованиями ТП (диапазон, точность, взрывобезопасность и др.) и наличием неинформативных влияющих параметров среды (давление, плотность, вязкость, электропроводность жидкости и т.д.) [1].

Особый интерес вызывают уровнемеры, реализующие хорошо известный емкостной метод, основанный на различии диэлектрических свойств контролируемой жидкости и воздушной или паровоздушной среды над ее поверхностью. Однако в идеале емкостные способы предназначены по своей сути для работы с диэлектрическими жидкостями, так как в случае с электропроводной средой сразу же возникает комплекс проблем, обусловленных необходимостью устранения влияния ее проводимости [2].

В докладе представлен анализ метрологических характеристик как известных емкостных уровнемеров, так и разработанного авторами устройства для измерения уровня жидкостей [3], позволяющий снять вопросы, связанные со сменой состава или типа жидкости (минеральные масла, нефтепродукты и др.) и колебаниями ее температуры. Положительный эффект достигается использованием встроенного датчика диэлектрической проницаемости контролируемой жидкости и двухканального принципа реализации интеллектуального измерительного прибора.

Литература

1. **Датчики:** справочное пособие / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук, Г.Г. Ишанин и др. Черкассы: Брама - Украина, 2008. – 1072 с.
2. **Емкостные датчики** / В.М. Шарапов, И.Г. Минаев, К.В. Базило и др. Черкассы: Брама – Украина, 2010. – 152 с.
3. **Пат. РФ № 2407993, 27.12.2010.** Емкостной способ измерения уровня жидкостей и устройство для его осуществления / И.Г. Минаев, М.А. Мастепаненко.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ

Задача измерения частоты прямо или косвенно встает во многих областях техники. Точные измерения частоты требуются, например, в области контроля качества электроэнергии, где согласно ГОСТ 13109 и ГОСТ 8.655, требования к частоте сигнала стоят на первых позициях.

В рамках данной статьи рассмотрены три наиболее популярных метода измерения частоты: отслеживания пересечений нуля, предварительного интегрирования сигнала и основанного на спектральном анализе.

Метод отслеживания пересечения нуля [1] основан на поиске интервала времени между двумя однонаправленными пересечениями сигналом нулевого значения. Достоинства: высокая точность, простота реализации и малая чувствительность к шумам. Недостатки: чувствительность к высокочастотным гармоникам и необходимость исключения влияния постоянной составляющей.

Метод предварительного интегрирования [2] основан на поиске интервала времени, между двумя пересечениями интеграла от сигнала заранее предопределенного значения. Достоинства: малое влияние высокочастотных гармоник на конечный результат и нечувствительность к наличию постоянной составляющей. Недостатки: чувствительность к случайным шумам и высокая чувствительность к фликкер-эффекту.

Для реализации метода, основанного на спектральном анализе необходимо выполнять преобразование Фурье набора отсчетов исходного сигнала и произвести математическую обработку результатов. Достоинства: высокая точность при работе с полигармоническими и зашумленными сигналами и нечувствительность к наличию постоянной составляющей. Недостатки относительную сложность реализации и необходимость наличия данных о предполагаемой частоте исследуемого сигнала.

Литература

1. **Begovic M., Djuric P., Dunlap S., Phadke A.** Frequency tracking in power networks in the presence of harmonics // IEEE Transactions on Power Delivery. 1993. Vol. 8. №2. P. 480—486.
2. **Попов В.С., Шумаров Е.В.** Способ измерения периода электрических сигналов с постоянной составляющей и несинусоидальной формой кривой // Измерительная техника. 1998. №7. С. 34—39.

В.В. Пехтерев, студ.; рук. С.В. Вишняков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АДАПТИВНАЯ ТРИАНГУЛЯЦИЯ ДЛЯ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Работа посвящена разработке метода адаптивной триангуляции для сжатия статических изображений и видеопоследовательностей.

Актуальность работы определяется потребностями современных телекоммуникационных систем в эффективных алгоритмах сжатия.

Идея учесть особенности изображения при сжатии находит отражение в попытке разработать алгоритм, производящий сегментацию на основе адаптивной сетки [1]. Привязка сетки к границам изображения позволяет устранять разрывы в функции цвета, чем улучшает качество сжатия с использованием ортогональных функциональных преобразований.

Основой предлагаемого алгоритма триангуляции является алгоритм поиска границ. Новизна представленного метода заключается в сочетании поиска границ на изображении с построением сетки. В данном случае рассматриваемый алгоритм позволяет построить дополнение множества отрезков границ до связанной треугольной сетки.

Предлагается алгоритм поиска границ, являющийся некоторым развитием идей алгоритма Кэнни [2]. Описываемая реализация позволяет снизить число ложных срабатываний в текстурированных областях за счет усложнения механизма предварительной обработки.

Совокупность представленных методов позволяет на текущем этапе исследований получить для сжатия статических изображений результаты, сравнимые с характеристиками работы алгоритма JPEG.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-07-00762.

Литература

1. **Ding W.** Adaptive Directional Lifting-Based Wavelet Transform for Image Coding// IEEE Transactions on Image Processing. 2007. V.16. № 2. P. 416-427
2. **Vezien J.M.** A Computational Approach to Edge Detection// http://perso.limsi.fr/Individu/vezien/PAPIERS_ACS/canny1986.pdf

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОГРАММНО- АППАРАТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Автономные системы электроснабжения (АСЭС) стали важнейшей системой современных образцов вооружения, в значительной степени определяющей их тактико-технические характеристики [1]. В связи с этим при разработке, ремонте и эксплуатации электрооборудования военной техники производится их всестороннее обследование в целях построения циклограмм энергопотребления, определения показателей качества электроэнергии (ПКЭ), оценки помехообразующих свойств потребителей электроэнергии и их функционального диагностирования. Данная задача является технически сложной, так как АСЭС военной техники включают в себя как первичную, генерирующую часть постоянного тока, так и вторичную, преобразовательную часть переменного тока, обследуемые процессы в которых характеризуются большим количеством показателей, а рабочие мощности, напряжения, токи и частоты имеют широкий спектр значений. Кроме того, значения большинства показателей не могут быть получены прямым измерением, их необходимо рассчитывать по результатам измерений с одномерной математической и статистической их обработкой. Применение традиционных измерительных средств для решения указанных технологических задач не всегда оправдано, а не редко и невозможно. Для решения этой задачи использована технология разработки виртуальных измерительных приборов [2], позволившая превратить персональный компьютер в измерительный комплекс с требуемыми метрологическими характеристиками. Универсальность, портативность, компактность использования аппаратной части, гибкость и возможность быстрой перестройки программной части делают его мобильным и многофункциональным, упрощают процедуру адаптации для применения в других областях техники, в частности для обследования АСЭС любой автотракторной техники.

Литература

1. **Белонковский А.С.** Электрооборудование танков. — М.: Академия БТВ, 2003.
2. **Бутыркин П.А.** Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7. М.: ДМК Пресс, 2005.

С.Ю. Токарев, асп.; рук. В.Д. Лебедев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗБОР ВОЛНОВЫХ КАНАЛОВ МНОГОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Численное решение телеграфных уравнений методом модальной декомпозиции в частотной области позволяет найти весь набор параметров волновых каналов конкретной частотной составляющей. Однако при этом не представляется возможным определить, какой параметр из этого набора с каким волновым каналом соотносится. Необходимо отыскать и применить критерий, позволяющий произвести такое соотнесение.

В качестве такого критерия может выступать предположение, что при рассмотрении набора решений для двух соседних частотных составляющих суммарное расстояние (на комплексной плоскости) между соответствующими элементами каждого набора будет минимальным лишь при надлежащей сортировке. Для определения такой сортировки необходимо перебрать все возможные комбинации перестановки элементов набора данной частотной составляющей. В n -проводной системе будет $n!$ таких комбинаций. Саму сортировку необходимо применить ко всему спектру итеративно.

Волновые каналы могут несколько раз пересекать друг друга на комплексной плоскости. Учет этих особенностей требует выбора достаточно малого шага по частоте. Уменьшение шага по частоте приводит к значительному увеличению времени расчета, сократить которое, однако, можно путем распараллеливания решаемой задачи.

Для этого весь массив частотных составляющих максимально равномерно разделяется на диапазоны. Количество таких диапазонов соответствует количеству исполнителей (фактически, ядер ЦПУ). Каждый исполнитель решает задачу модальной декомпозиции и выполняет разбор волновых решений в пределах вверенного ему диапазона частотных составляющих. После того как все исполнители закончили расчет, все результаты расчета объединяются. При этом следует учитывать тот факт, что порядок сортировки волновых каналов может меняться от диапазона к диапазону. Это требует дополнительного последовательного разбора решений на границах диапазонов и, при необходимости, перестановки порядка сортировки волновых каналов внутри диапазона.

Представленный в данной работе путь решения задачи разбора волновых каналов показывает высокую эффективность даже для случая не-транспонированной несимметричной линии.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕТОДОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ, ОСНОВАННЫХ НА АЛГОРИТМЕ ВЫБРАННЫХ ТОЧЕК

Среди методов динамических измерений (ДИ), в зависимости от количества отсчётов, выбранных для определения оценки измеряемой физической величины (ФВ), в виде асимптоты переходного процесса (ПП) в измерительной цепи (ИЦ), различают методы, основанные:

- на однократном измерении, которые используют одно измерение ФВ в определённый момент времени, скорость изменения этой величины в данный момент и значение постоянной времени ИЦ (ПВИЦ);
- на измерении ФВ в два последовательных момента времени с учётом известного изменения переходной характеристики ИЦ между этими точками. Подобным образом рассчитывается оценка по типовому алгоритму обратного цифрового преобразования первого порядка [1];
- на измерении ФВ в три равноотстоящих момента [2].

Методы ДИ используются в термометрии, где температура среды определяется по переходному процессу с известной ПВИЦ [2]. Моменты снятия показаний ограничены снизу условием выхода на регулярный тепловой режим, а сверху — допустимым временем измерений из условия допускаемого нагрева датчика. Между этими моментами температура датчика изменяется во времени по экспоненциальному закону.

Недостатком первых двух методов в термометрии считается необходимость предварительного знания ПВИЦ. Наличие априорной информации о ПВИЦ не требует метод, основанный на использовании первой и второй производных ПП. Алгоритм ДИ в разностной форме был исследован в работе [3]. Асимптотическое значение находится через ординату первого отсчёта, две первые и одну вторую разности также трёх соседних равноотстоящих отсчётов.

Анализ методов ДИ позволил найти общую закономерность в их построении, путём использования аппроксимации производных с помощью отношения конечных разностей. Таким образом, трёхточечные алгоритмы ДИ независимо от формы их записи оказываются эквивалентными.

Литература

1. **Колосов О.С.** Алгоритмы численного дифференцирования в задачах управления. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 144 с.
2. **Гордов А.Н., Малков Я.В., Эргардт Н.Н., Ярышев Н.А.** Точность контактных методов измерения температуры. – М.: Изд-во стандартов. 1976. 232 с.
3. **Алгоритмический метод совершенствования динамических характеристик цифровых термометров с микропроцессорным управлением / В.Н. Малиновский, В.А. Панфилов, Г.В. Антипов и др. // Сб. науч. трудов. 1987. № 151. С. 5—13.**

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОСКОЛОЧНОГО ПОЛЯ БОЕПРИПАСОВ

Точность оценки эффективности поражающего действия дистанционных боеприпасов зависит от достоверности полученных исходных данных о характеристиках их осколочного поля. В настоящее время существуют измерительные стенды испытаний осколочных боеприпасов [1], которые обладают низкими оперативностью, точностью и информативностью.

Для устранения указанных недостатков предлагается вычислительно-измерительная система (ВИС), состоящая из пульта управления подрывом, двух разнесенных в пространстве неконтактных датчиков, n -блоков измерений, аналого-цифрового преобразователя, блока памяти, передающего и приемного устройств, микроЭВМ [2]. Конструкция датчиков выполнена в виде полумонолитных вертикальных стенок, состоящих из n -секторов, каждый из которых выполнен в виде перпендикулярно размещенных линеек фотоприемников (рис. 1).

Принцип работы ВИС, заключается:

- в определении координат движения осколков боеприпаса на основе фиксации пространственных положений сработавших элементов линеек фотоприемников;
- в определении эшелонов, геометрических размеров осколков боеприпаса за счет фиксации количества дискретных и одновременных срабатываний элементов линеек фотоприемников;
- в определении скорости и углов подхода осколков боеприпаса к мишени за счет фиксации временных интервалов и координат срабатывания относительно двух датчиков;
- в осуществлении записи указанных данных в блок памяти и передаче их по линии неконтактной связи в микроЭВМ.

Данная вычислительно-измерительная система может быть использована для испытаний вновь создаваемых боеприпасов.

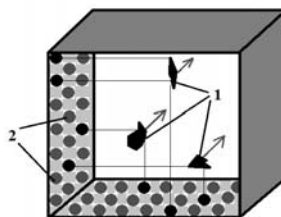


Рис. 1. Сектор одного из датчиков:

- 1 — поражающие элементы;
2 — фотоприемники

Литература

1. Миропольский Ф.П., Саркисян Р.С. Авиационные боеприпасы и их исследование. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1996.
2. Мужичек С.М., Ефанов В.В., Шутов П.В. Способ испытаний осколочных боеприпасов и стенд для его реализации: Заявка на изобретение № 2012100255 от 10.01.2012.

Секция 21

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

*Председатели секции — д.т.н., профессор А.Д. Покровский,
к.т.н., доцент В.А. Барат
Секретарь секции — аспирант Д.А. Малушин*

*А.Д. Ахметзянова, студ.; рук В.И. Капаев, к.т.н., доц
(КГЭУ, г. Казань)*

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОЙ ЦЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Как свидетельствует опыт эксплуатации, основным элементом, который ответственен за наиболее часто повторяющиеся отказы асинхронных двигателей (АД), является их электроизоляционная система, из-за повреждения которой наблюдается около 90 % всех преждевременных отказов, причем 93 % из них приходится на межвитковую изоляцию [1]. В большинстве случаев данный вид отказа АД развивается постепенно во времени и «внезапным» является по факту проявления предельного состояния электроизоляционной системы. Контроль процесса деградации электроизоляционной системы позволит определить ее ресурс оставшегося времени эксплуатации и на ранних стадиях принимать соответствующие превентивные меры, предупреждающие отказ. Целью работы является выявление наиболее эффективного способа определения фактического состояния электроизоляционной системы АД на основе результатов контроля параметров, характеризующих ее состояние. При этом предлагается полное множество возможных значений параметра представлять в виде составляющих подмножеств значений параметра — диагностических поддиапазонов, соответствующих конкретному состоянию изоляции. В этом случае задача определения степени износа изоляции может быть сведена к задаче идентификации диагностических поддиапазонов с конкретным ее состоянием. Поскольку подмножества значений параметра, сопоставленных конкретным состояниям изоляции, в общем случае пересекаются, то возникает задача нахождения таких границ между диагностическими поддиапазонами, которые обеспечивали бы минимум ошибки диагноза. Ис-

пользование математического аппарата теории информации [2] позволило решить задачу нахождения таких границ между поддиапазонами значений диагностического параметра, идентифицируемых с различными состояниями электроизоляционной системы, которые минимизируют ошибки диагноза, т.е. способствуют повышению информативной ценности параметров.

Литература

1. **Современные** подходы к оценке состояния изоляции электрических машин высокого напряжения / В.А. Чернышев, Ю.А. Сафроненков, А.А. Гордиловский, В.А. Чернов // Электротехника. 2008. № 4.
2. **Биргер И.А.** Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978.

*А.В. Бабенко, студ.; рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ МНОГОКАНАЛЬНОМ КОНТРОЛЕ ИЗДЕЛИЙ

В традиционной ультразвуковой (УЗ) дефектоскопии в подавляющем большинстве случаев используются одноканальные методы контроля с помощью простых немодулированных сигналов ударного возбуждения. Однако в ряде случаев осуществляется многоканальный контроль. Так, например, на прокатном стане производится УЗ-контроль стальных листов в теневого режиме системой из N излучающих и N приемных пьезоэлектрических преобразователей, размещенных по разные стороны изделия. При этом все каналы «включаются» во времени по очереди, чтобы избежать попадание на j -й приемный пьезопреобразователь сигналов с соседних $j-1$ -го и $j+1$ -го каналов. Такое временное разделение каналов ограничивает скорость движения листа и снижает производительность прокатного стана.

В [1] было показано, что повысить производительность контроля возможно при одномоментном использовании во всех N каналах ансамбля из N ортогональных УЗ-сигналов с последующей оптимальной фильтрацией каждого из сигнала своим оптимальным фильтром. Такими свойствами ортогональности обладают фазоманипулированные (ФМ) сигналы Хаффмена (М-сигналы). В докладе приведены результаты анализа корреляционных свойств различных ансамблей ортогональных ФМ М-сигналов; проводится выбор оптимальной базы сигналов для использования их в многоканальной дефектоскопии; приведена структурная схема многоканального УЗ-устройства контроля с использованием ансамбля из $N=8$ ФМ М-сигналов с базой $M=127$.

Литература

1. **Качанов В.К.** Применение ортогональных ФМ сигналов в УЗ дефектоскопии // Дефектоскопия. 1990. №9. С. 39—46.

*В.А. Бойков, А.А. Буданцев, студенты;
рук-ли Д.Ю. Пашали, к.т.н., доц.; О.А. Бойкова, к.т.н., ст. преп.
(УГАТУ, г. Уфа)*

СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ МАГНИТОИНДУКЦИОННОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрим реализацию магнитоиндукционного метода контроля на основе накладных электромагнитных преобразователей (далее НЭП). К современным НЭП предъявляются требования: простота, надежность и технологичность конструкции; стабильность работы и регулируемость выходных параметров; минимальное потребление энергии на управление; минимальный вес и габариты. В качестве специальных требований можно выделить обеспечение максимальной величины магнитной индукции в определенных участках контролируемого объекта; получение выходного сигнала преобразователя в удобной для преобразования и передачи в системе управления.

Для оптимального проектирования таких преобразователей, необходимо учитывать геометрические размеры и форму изделия, области применения определяемых параметров, нелинейность магнитных свойств конструкционных материалов.

Известные решения имеют ряд недостатков, которые снижают точность определения глубины дефектного слоя, не позволяют определить точное месторасположение дефектного слоя и ограничивают функциональные возможности устройства. Для расширения функциональных возможностей устройства авторами предложена оригинальная конструкция НЭП [1], которая позволяет проводить, в режиме непрерывного мониторинга: неразрушающий контроль всей поверхности деталей и узлов контролируемого изделия, диагностику дефектов, обусловленных фазовой, структурной и геометрическими неоднородностями обшивки летательных аппаратов, планеров и любых других изделий. Реализация диагностирования оболочек взрывозащищенного оборудования, применяемого в газовой и нефтеперерабатывающей промышленности, с помощью разработанного устройства приведена в [2].

Литература

1. Хайруллин И.Х., Пашали Д.Ю., Бойкова О.А. Накладной электромагнитный преобразователь / Полезная модель №68700, МПК G01N27/90. Бюл. №33. 27.11.2007.
2. Хайруллин И.Х., Пашали Д.Ю., Бойкова О.А. Накладной электромагнитный преобразователь для контроля оболочек электрических машин // Сборник трудов «Электронные устройства и системы». Уфа: УГАТУ, 2008. — С.137 – 139.

А.С. Бойчук, А.С. Генералов, Д.С. Ложкова, аспиранты;
рук. А. В. Степанов, к.т.н. (ФГУП «ВИАМ», Москва)

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В УГЛЕПЛАСТИКАХ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК

Численная оценка вероятности обнаружения дефектов при неразрушающем контроле (НК) как завершающий этап разработки методики является за рубежом обязательным условием внедрения новых методик НК ответственных изделий и объектов.

Специалистами ФГУП «ВИАМ» проведены исследования по оценке вероятности обнаружения дефектов в углепластиках при НК по методике ультразвукового контроля с использованием фазированных решеток. Разработаны и изготовлены образцы из углепластика с искусственными дефектами разных типов (расслоения, посторонние включения, ударные повреждения) и разных размеров (рис. 1).

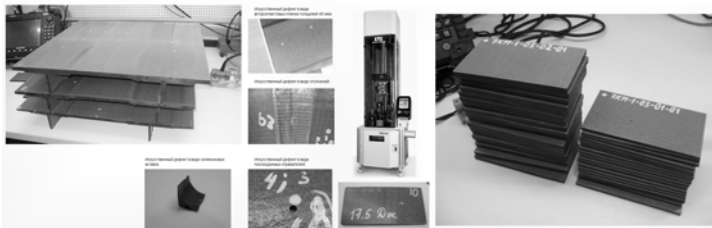


Рис. 1. Комплекты образцов из углепластика с искусственными дефектами, имитирующими типичные производственные и эксплуатационные дефекты углепластиков

Проведение вероятностной оценки заключалось в построении зависимости вероятности обнаружения дефектов от их размеров и доверительного интервала заданного значения [1, 2].

По результатам исследований сделан вывод, что разработанный алгоритм построения вероятностных зависимостей может использоваться специалистами отрасли при обработке статистических данных обнаружения/пропуска дефектов различных размеров для построения зависимости вероятности определения дефекта от его размера для конкретной методики ультразвукового контроля.

Литература

1. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных сотрудников. М.: Физматлит, 2006.
2. Основы математической статистики / под ред. В.С. Иванова. М., 1990.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ НАЧАЛА СИГНАЛА ПРИ ПОМОЩИ ПРИНЦИПА ІСІ

В данной работе проводится исследование и усовершенствование различных методов определения начала сигнала. Точное определение времени начала сигнала очень важно для многих методов неразрушающего контроля. При контроле с помощью акустической эмиссии точное определение начала сигнала позволяет определить местонахождение дефекта. При контроле вихретоковым и магнитным методами определение начала сигнала позволяет улучшить сегментацию сигнала для обнаружения области, в которой располагается дефект.

Существует целый класс методов определения начала сигнала, наиболее эффективными из них являются: метод прохождения порогового уровня, критерий Акаике [2], метод статистик высших порядков [1].

В данной работе представлен новый алгоритм определения начала сигнала на основании метода пересечения доверительных интервалов (ІСІ) [3]. Основным достоинством разработанного алгоритма является его адаптивность, параметры метода изменяются при изменении свойств анализируемого сигнала. Метод также обладает информационной избыточностью, благодаря которой оказывается возможным обрабатывать зашумленные сигналы.

В результате численного эксперимента на выборке из 500 модельных сигналов с разным временем нарастания фронта и разным значением соотношения сигнал/шум было показано, что применение принципа ІСІ позволяет уменьшить погрешность определения времени начала сигнала.

Результаты исследования могут быть использованы для обработки сигналов акустической эмиссии, а также для данных ультразвукового, вихретокового и магнитного контроля.

Литература

1. **Lokajicek T., Klima K.** High-order statistics approach: automatic determination of sign and arrival time of acoustic emission signals // 28-th European Conf. AE Testing, EWGAE 2008.
2. **Sedlak P., Hirose Y., Enoki M., Sikula J.** Arrival time detection in thin multi-layer plates on the basis of Akaike information criterion // 28-th European Conf. AE Testing, EWGAE 2008.
3. **Katkovnik V., Egiazarian K., Shmulevich I.** Adaptive varying window size selection based on intersection of confidence intervals rule // Signal Processing Laboratory, Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

*В.С. Бондарева, асп.; Т.Д. Павлова, инж.;
рук. А.В. Степанов, к.т.н., доц. (ФГУП «ВИАМ», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ИНДИКАТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАГНИТОПОРШКОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

При неразрушающем контроле магнитопорошковым методом важную роль играет качество применяемых дефектоскопических материалов [1]. В ФГУП «ВИАМ» проводилась работа по исследованию современных индикаторных материалов для магнитопорошкового контроля, в результате которой были выявлены основные характеристики, оказывающие наибольшее влияние на качество индикаторных материалов, т.е. в первую очередь на их выявляющую способность.

В рамках работы были исследованы свойства наиболее распространенных магнитных порошков, таких как «Диагма-1100», «Диагма-2623», «МИНК-020 АМ», «Magnaflux» 27В, МП по ТУ 6-36-05800165-1009—93, МП по ТУ 6-14-1009—79 и т.д.

В результате эксперимента был определен размер частиц магнитных порошков в исходном состоянии, также были получены зависимости магнитных свойств индикаторных материалов от времени магнитной коагуляции. Определение химического состава магнитных порошков проводилось с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра.

Выявляющую способность суспензий на основе современных индикаторных материалов определяли с помощью тест-образца цилиндрической формы, на поверхность которого нанесены реальные дефекты в виде волосяных с шириной ≤ 1 мкм, длиной ≤ 300 мкм. Испытания проводили с использованием в качестве эталона черного магнитного порошка по ТУ 6-36-05800165-1009—93 с выявляющей способностью 100 %.

На основании проведенных исследований был сделан вывод, что, оценивая качество магнитопорошковых материалов, нельзя с абсолютной уверенностью сказать, какая из характеристик оказывает наибольшее влияние на чувствительность МПК. Поэтому следует рассматривать совокупность характеристик индикаторных материалов.

Литература

1. Шелихов Г.С. Магнитопорошковая дефектоскопия деталей узлов. М., 1995.

А.А. Буганков, студ.; рук. М.Ю. Поляхов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОГО ДВУХОСЕВОГО БЛОКА ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ ВНУТРИТРУБНОГО ДЕФЕКТОСКОПА

Внутритрубная магнитная дефектоскопия — один из самых эффективных методов контроля магистральных трубопроводов. Высокие требования к достоверности контроля и стабильный темп роста числа трубопроводов, способных пропускать снаряд-дефектоскоп, делают актуальной задачу совершенствования технических характеристик применяемой для дефектоскопии аппаратуры.

В рамках данной работы был спроектирован и изготовлен современный блок датчиков измерительной системы магнитного дефектоскопа, при разработке которого были учтены недостатки существующих устройств данного типа [1], такие как высокая стоимость изготовления, трудоемкость и неточность аппаратной методики настройки, а также высокие требования к квалификации специалиста ее осуществляющего.

В устройстве использован один из самых современных на сегодняшний день микроконтроллеров [1, 3], что позволило существенно сократить количество внешних компонентов, тем самым повысив надежность и снизив стоимость устройства, а также дало широкие возможности для реализации алгоритмов программной коррекции измерений и калибровки.

Также была разработана и успешно опробована на практике программная методика настройки, позволяющая упростить и ускорить процедуру входного контроля каждого блока датчиков и исключить влияние ряда погрешностей на достоверность измерений.

Разработанный блок может быть интегрирован в существующие системы внутритрубных дефектоскопов без переделки остальных узлов.

Чувствительность устройства 47,4 единиц кода/мТл.

Разрядность измерений 12 бит.

Погрешность измерений 1,26 %.

Среднеквадратическое отклонение случайной погрешности 1,5 единицы кода.

Литература

1. **Хоровиц П., Хилл У.** Искусство схемотехники. М.: Мир, 2007.
2. **Левшина Е.С., Новицкий П.В.** Электрические измерения физических величин. Л.: Энергоатомиздат, 1983.
3. **Atmel Technology On Tour.** AVR8013-Training-09. 2011.

А.С. Генералов, А.С. Бойчук, Д.С. Ложкова, аспиранты;
рук-ли В.В. Мурашов, д.т.н.; А.В. Степанов, к.т.н., доц.
(ФГУП «ВИАМ», Москва)

ПОСТРОЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПКМ НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ

При изготовлении и эксплуатации элементов конструкций планера часто требуется оценить влияние мелких множественных дефектов на эксплуатационные свойства объекта контроля. Для этих целей широко применяется реверберационно-сквозной (РСкв) метод. Данная задача относится к области контроля физико-механических свойств материалов акустическими методами НК, основанного на корреляционных связях измеренных акустических параметров с оцениваемыми свойствами материала [1]. Для РСкв метода таким акустическим параметром является критерий SWF [2].

В ходе исследований образцов из углепластика получен набор статистических данных — прочность при изгибе/SWF. Проведен корреляционно-регрессионный анализ, получены уравнения регрессии и построены корреляционные связи между прочностью при изгибе и критерием SWF (рис.1).

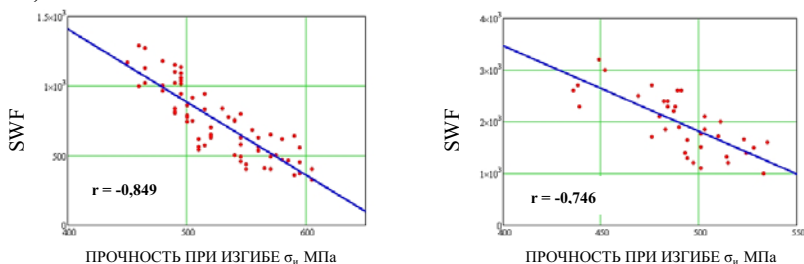


Рис. 1. Корреляционные связи между прочностью при изгибе образцов из углепластика и критерием SWF: слева для образцов с производственными дефектами, справа для образцов с эксплуатационными дефектами

Проведена оценка погрешности определения прочностных характеристик РСкв методом с использованием корреляционных связей (рис.1). Относительная погрешность составляет порядка 12—15 %.

Литература

1. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3. Ультразвуковой контроль. – 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2006. – 864 с.
2. Summerscales J. Non-destructive testing of fibre-reinforced plastics composites. Vol. 2., Elsevier Science Publishers LTD. 1990.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА LABVIEW ПРИ КОНТРОЛЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИЕЙ

Для технической диагностики состояния трубопроводов используется один из интегральных методов неразрушающего контроля — метод акустической эмиссии (АЭ).

Основные параметры АЭ — это число импульсов за время наблюдения и активность (скорость счета) АЭ, равная количеству импульсов в некотором интервале времени наблюдения (0,1 или 1 с). Фактически регистрируются не все импульсы АЭ, а лишь превышающие определенный порог. Параметры эмиссии обозначают: суммарный счет N и скорость счета \dot{N} .

Нестабильный рост трещины сопровождается АЭ, суммарный счет которой может быть записан в виде [1]:

$$N = c K^m, \quad (1)$$

где K — коэффициент интенсивности напряжений.

Постоянные c и m определяются материалом и условиями нагружения.

Связь числа импульсов АЭ с приложенным напряжением можно выразить также в следующем виде:

$$N_{\Sigma} = D a \left[\sec \left(\frac{\pi \sigma}{2 \sigma_{\max}} - 1 \right) \right], \quad (2)$$

где D — постоянная, определяемая условиями испытаний, параметрами материала и геометрией образца; a — половина длины трещины; σ_{\max} — прочность материала.

На экспериментальной установке был получен сигнал АЭ, сэмитированный источником Су-Нильсена, который зарегистрировали с помощью специальной программы, далее в разработанном в LabVIEW ВП [2] программа считала сохраненные данные, посчитала число событий (импульсов), скорость счета.

По результатам обработки полученной информации можно сделать вывод о природе, месте расположения и росте дефекта.

Литература:

1. **Иванов В.И., Бигус Г.А., Власов И.Э.** Диагностика безопасности. Акустическая эмиссия / под общ. ред. академика РАН В.В. Клюева. М.: РОНКТД, 2011. – 192 с.
2. **Измайлова Е.В.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012617704: FlawDefiner / Е.В. Измайлова, Ю.В. Ваньков, В.В. Серов, Т.Г. Горбунова. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 27 августа 2012.

*И.Р. Исмагилов, А.А. Хасанов, аспиранты;
рук. Р.И. Калимуллин, д.ф.-м.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И РАЗМЕРОВ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ МЕТОДОМ ТЕНЕВОГО ЛАЗЕРНО-АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Ввиду усложнения конструктивных особенностей и уменьшения размеров современных объектов контроля (ОК) наиболее перспективным с точки зрения применения в устройствах неразрушающего контроля является лазерно-акустический метод, который позволяет осуществлять генерацию ультразвуковых волн в ОК дистанционно и открывает большие возможности для применения по сравнению с контактными методами.

Схема экспериментальной установки и методика определения местоположения, размеров приповерхностных дефектов способом теневого лазерно-акустического контроля представлены в работе [1]. Для генерации акустических волн использовался пучок оптического излучения от лазера на алюмоиттриевом гранате (АИГ) с длиной волны на первой гармонике 1,06 мкм, длительностью импульсов 7,5 нс и мощностью в импульсе порядка 1,3 МВт. В качестве ОК были выбраны образцы из алюминиевого сплава Д16АТ без дефекта и с приповерхностными дефектами в виде прорезей. Генерация акустических колебаний создавалась лазерным пучком, сфокусированным на поверхности в виде узкой полоски, а регистрация — с помощью прикрепленного на поверхности образца пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП).

Анализ изменения интенсивности и времени прохождения сигналов волны Рэлея при приближении к ПЭП показал, что форма изменения их амплитудных и временных параметров в образцах без дефекта и с дефектом различается. При переходе от поверхности вблизи дефекта к его дну наблюдается резкий временной сдвиг акустических сигналов в сторону опережения вследствие уменьшения расстояния от области облучения до ПЭП на величину глубины прорези. После преодоления каждой границы дефекта амплитуда сигнала волны Рэлея резко возрастает, что объясняется преодолением области геометрической тени. Такая амплитудная и временная зависимость, отличающаяся от зависимостей для распространения волн Рэлея в образце без дефекта, позволяет определять наличие, местонахождение и размеры (глубина, ширина) приповерхностных дефектов в виде трещин, сколов, усталостей.

Литература

1. **Определение** размеров приповерхностных дефектов теньевым методом лазерно-акустической дефектоскопии / В.А. Голенищев-Кутузов, И.Р. Исмагилов, Р.И. Калимуллин и др. // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2012. № 5—6. С. 103—108.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО УЗ-КОНТРОЛЯ

При ультразвуковом (УЗ) контроле ряда ответственных изделий не допускается контакт УЗ-преобразователя с поверхностью изделия. Применение бесконтактного способа контроля исключает механическое касание преобразователем объекта контроля и не требует использовать иммерсионных жидкостей. Кроме того, использование бесконтактного способа контроля повышает производительность и эффективность при автоматизации процесса УЗ-контроля [1]. Вместе с тем, при УЗ-контроле через воздушный промежуток появляется комплекс проблем по обеспечению высокой чувствительности контроля.

В докладе рассматриваются различные конструкции широкополосных низкочастотных электроакустических УЗ-пьезопреобразователей с возбуждением зондирующего сигнала и регистрацией эхо-сигнала через нерезонансный воздушный промежуток [2].

В докладе приведены результаты исследований по расширению полосы электроакустического преобразования бесконтактных низкочастотных УЗ пьезопреобразователей за счет применения разработанных авторами модификаций композитных и мозаичных технологий.

В докладе показывается, что расширение полосы и увеличение эффективности электроакустического преобразования позволяет получить одновременно высокие значения чувствительности и разрешающей способности контроля при бесконтактном теневом и эхо-импульсном способе контроля.

Приводятся результаты сравнительного анализа частотных и пространственных характеристик различных модификаций пьезоэлектрических преобразователей для контактного и бесконтактного УЗ-контроля.

Литература

1. **Волосский В.П.** Разработка бесконтактной ультразвуковой эхолокации пластмассовых сред: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МЭИ, 1985.
2. **Заключовский В.И., Карцев Г.Т.** Применение пьезоэлектрических преобразователей для бесконтактного ультразвукового контроля изделий // Дефектоскопия. 1978. №3. С. 28—34.

А.Н. Китабов, асп.; рук. В.Н. Ефанов, д.т.н., проф. (УГАТУ, г.Уфа)

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В настоящее время одной из актуальных задач в нефтегазовой отрасли является повышение срока безотказной работы погружного электродвигателя, поскольку его поломка в процессе эксплуатации приводит к необходимости сложных мероприятий по ремонту скважины и добывающего оборудования.

Самым информативным параметром с точки зрения оценки технического состояния электродвигателей является вибрация. В настоящее время в процессе обработки измеренной вибрации применяют методы спектрального анализа. Данные методы анализа обладают некоторыми недостатками, главные из которых — это неудовлетворительное качество спектров нестационарных сигналов, а также отсутствие возможности временной локализации сигнала.

Для повышения качества обработки информации, предлагается использовать аппарат непрерывного вейвлет-преобразования. Вейвлет-анализ характерен тем, что он способен представить сигнал как во временной, так и в частотной областях. В результате вейвлет-преобразования получается двумерный массив данных, который графически представляется в виде поверхности. Также результат вейвлет-преобразования можно представить в виде скейлограммы. Рассмотрим в качестве примера дефект типа расцентровка ротора. Скейлограмма такого вида неисправности приведена на рис. 1.

На скейлограмме отчетливо видны максимумы вейвлет-преобразования (светлые области) двух типов: в нижней части скейлограммы на уровне 10-го масштаба, и чуть выше — на уровне 30-го масштаба. Расположение подобных максимумов как по частоте (масштабу), так и по времени является индивидуальным для каждого из известных видов дефектов.

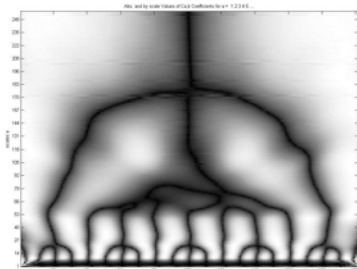


Рис. 1. Скейлограмма расцентровки

Таким образом, задача диагностики сводится к определению вида дефекта по характерному виду скейлограммы и степени его развития по соответствующим значениям информативных коэффициентов вейвлет-преобразования.

Проведение диагностики погружного электрооборудования с применением непрерывного вейвлет-преобразования позволит более точно идентифицировать дефект и прогнозировать динамику его развития.

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

В докладе приведен анализ задач, решаемых интеллектуальными системами в медицине, представлен обзор известных систем, используемых в клинической диагностике. Главным стимулом развития данных систем является совершенствование лабораторно-исследовательского оборудования и появление такого направления как телемедицина, позволяющего эффективно решать задачи информационного обмена между медицинскими специалистами.

Рассматривается процесс принятия медицинских решений, в котором выделены процедуры, реализуемые с использованием интеллектуальных систем: анализ медицинской информации, поддержка принятия решения, выбор совокупности наиболее эффективных медицинских мероприятий.

Рассматривается проблематика современной патологической диагностики в Российской Федерации. Являясь «золотым стандартом» диагностики многих заболеваний, клиническая патологическая анатомия в рамках модернизации здравоохранения должна обеспечивать своевременный, информативный и объективный подход к диагностическому и лечебному процессу. Способом повышения оперативности и качества патологической диагностики в условиях дефицита квалифицированных кадров и дистанционной отдаленности патологических центров от медицинских учреждений в районах является создание распределенной информационно-аналитической системы патологической диагностики.

В докладе рассматриваются требования, предъявляемые к построению такой системы:

- 1) система должна обеспечивать оперативный обмен данными патологической диагностики и обладать собственной, изменяемой в процессе функционирования, базой знаний;
- 2) должны быть разработаны способы интеллектуального анализа данных патологической диагностики с возможностью визуализации результатов такого анализа;
- 3) должны быть разработаны способы поддержки принятия решений с использованием системы, в том числе способы поддержки коллективного и распределенного принятия диагностических решений;
- 4) система должна обеспечивать оценку качества принятия диагностических решений.

Р.В. Концов, асп.; рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ МНОГОКАНАЛЬНЫМ ИМПАКТ-ЭХОМЕТОДОМ

Согласно ГОСТ 17624—87 [1] ультразвуковой метод определения прочности бетона основан на связи между скоростью распространения ультразвуковых (УЗ) колебаний и его прочностью. Измерение скорости УЗ-колебаний в бетоне проводят при одностороннем, сквозном или поверхностном прозвучивании. Однако эти методы не всегда реализуемы. Односторонний (эхоимпульсный) метод не позволяет контролировать крупногабаритные изделия из бетона из-за большого частотно-зависимого затухания УЗ-колебаний в бетоне. Для сквозного (теневого) прозвучивания необходим двусторонний доступ к бетонному изделию, а измерение скорости продольных колебаний по скорости поверхностных акустических волн не всегда возможно из-за различия в физико-механических свойствах бетона в толще строительной конструкции и на поверхности, подверженной климатическим и иным воздействиям [2].

В докладе приведены исследования по применению импакт-эхометода с помощью многофункциональной акустической системы для комплексного обследования бетонных конструкций и фундаментов Freedom Data PC multiple system platform (фирма Olson Instruments), позволяющего проводить измерение толщины бетонных изделий до 2 м и более при одностороннем доступе к изделию. Показано, что точность измерения толщины бетонных изделий зависит от формы бетонной конструкции и от структуры бетона измеряемого изделия. В докладе показывается, что для повышения точности измерения толщины необходим многоканальный контроль: снятие парциальных спектральных характеристик в нескольких положениях импактора с последующим применением пространственной обработки (перемножения парциальных спектральных характеристик) для выделения максимума полезного резонанса.

Литература

1. ГОСТ 17624-87.
2. Качанов В.К., Авраменко С.Л., Концов Р.В. Мультипликативно-корреляционный метод измерения скорости распространения акустических колебаний в крупногабаритных изделиях из бетона // Измерительная техника. 2009. № 11. С. 52—54.

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМИ НАКЛАДНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

В ряде задач неразрушающего контроля (НК) ставится задача отбраковки изделий. К таким объектам контроля (ОК) относятся дисперсионные тепловыделяющие элементы или твэлы (рис. 1) [3], а для решения задачи отбраковки применяется вихретоковый метод контроля (ВТК) с помощью накладных многоэлементных преобразователей (НМП) [1, 2].

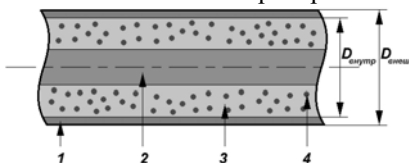


Рис. 1. Осевое сечение дисперсионного твэла:

1 — оболочка; 2 — компенсатор; 3 — силумин; 4 — частицы ядерного топлива, $D_{\text{внеш}} = 6,8$ мм, $D_{\text{внутр}} = 5,8$ мм

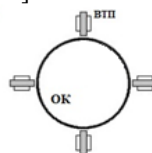


Рис. 2. Объект контроля с НМП

Использование внешних проходных вихретоковых преобразователей (ВТП) представляется наиболее целесообразным, но они имеют ряд недостатков. Если в ортогональном сечении твэла имеется два локальных дефекта, то суммарный сигнал проходного ВТП может превысить пороговый уровень, в то время как оба дефекта являются допустимыми. Эту задачу можно решить, применив НМП (рис. 2). Но при этом возникает проблема обработки полученных сигналов. В общем случае дефект располагается между датчиками НМП и сигнал от каждого из них может не превышать порогового уровня, даже если дефект будет являться критическим.

В работе исследуются экспериментально полученные сигналы от дефектов типа лыски и проточки, расположенных в поверхностном слое твэлов. На их основе разрабатывается алгоритм отбраковки ОК по амплитудам сигналов, полученных с двух соседних элементов НМП. Приводится оценка погрешности предложенного метода обработки, которая говорит о том, что алгоритм соответствует поставленной цели и готов к проверке в производственных условиях.

Литература

1. Бакунов А.С., Герасимов В.Г., Останин Ю.Я. Вихретоковый контроль накладными преобразователями. М., 1985.
2. Самойлов А.Г., Волков В.С., Солонин М.И. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов: учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1996.

А.С. Лаврентьев, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АМПЛИТУДНОГО КРИТЕРИЯ ГЛУШЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБОК ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС

В настоящее время в связи с возросшей необходимостью контроля теплообменных трубок (ТОТ) парогенераторов на АЭС весьма актуальной задачей является разработка амплитудного критерия глушения [1].

Анализ результатов исследования в целях оценки возможности введения амплитудного критерия при глушении ТОТ, показал, что при решении вопроса о глушении трубы должны учитываться амплитуды сигналов от обнаруженного дефекта на разных частотах в совокупности с оценкой основных геометрических параметров дефекта — его глубины и осевой протяженности. Результаты анализа сигналов (обнаружение и параметризация дефектов) получены в автоматическом режиме с помощью программно-методического комплекса PIRATE с использованием соответствующих калибровочных зависимостей, определяемых тестовыми дефектами на калибровочной трубке.

Критерием отбора сигналов для введения в базу было условие, чтобы результаты определения глубины дефекта по всем трем частотам не должны отличаться более чем на 20 %.

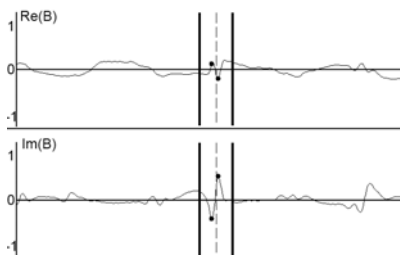


Рис. 1. Пример индикации, вошедшей в базу анализа сигналов

На рис. 1 представлены примеры сигналов от индикаций, которые вошли в базу для анализа.

Анализ статистических распределений различных параметров вихревых сигналов и оценок геометрических параметров дефектов (глубины и осевой протяженности — длины) проводился на трех рабочих частотах: 280, 130, 60 кГц.

Для обоснования возможности выбора амплитудного критерия глушения теплообменных труб, т.е. допустимости эксплуатации труб с дефектами большой глубины и малой протяженности, были рассмотрены два аналогичных физических явления — механика разрушения дефектного изделия при условии разности давлений и разрушение материала изделия в электростатическом поле при превышении напряженность электрического поля предела электрической прочности.

Литература

1. Лукасевич Б.И., Трунов Н.Б., Драгунов Ю.Г., Давиденко С.Е. Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций. — М.: ИКЦ «Академкнига».

*А.С. Малацион, асп.; рук. Н.К. Андреев, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРИБОРА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭХО-ИМПУЛЬСНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Тестируется прибор для акустического импульсного зондирования трубопроводов (труб) (рис. 1) с целью обнаружения дефектов самого трубопровода и отслоения внешнего защитного слоя (цемента, пластика, бетона и т.д.). Зондирование проводится с одного конца трубопровода продольными звуковыми волнами эхоимпульсным методом. Управление экспериментом, включая изменение частоты и амплитуды зондирующего импульса, и обработка результатов проводятся оператором с персонального компьютера. Исследуются возможности обнаружения прибором различных видов дефектов, его чувствительность, разрешающая способность и дальность действия, а также способы улучшения этих характеристик.

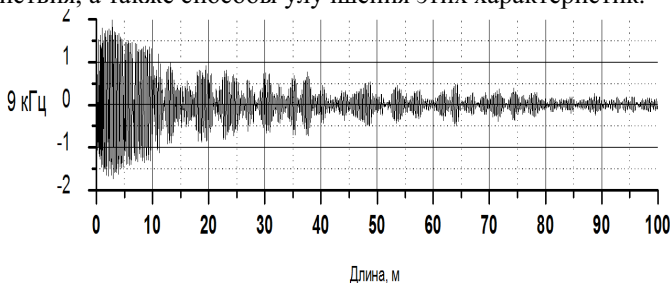


Рис. 1. Форма отклика объекта на акустическое зондирование на частоте 9 кГц

Объект контроля — стальной трубопровод, длиной 30 м, части которого соединены муфтами. Во время проведения теста в лаборатории техническими приспособлениями моделируются различные виды дефектов трубы, условия внешнего нагружения грунтом и внутреннего заполнения жидкостью. Дефекты трубы создаются механическими разрезами ее стенок. Для проверки влияния контакта с цементом в трубопровод вставляются секции трубы с внешней цельной и отслоенной цементной оболочкой. Контакт трубы с грунтом моделируется помещением ее в жесткий, стягиваемый болтами внешний каркас.

Таким образом, можно моделировать дефекты в любой части трубопровода и менять условия эксперимента.

*Д.С. Малущин, Е.Г. Пастухов, аспиранты; рук. Л.А.Чернов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ТРУБАХ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Обеспечение надежной работы теплообменных трубок парогенераторов, а также определение их остаточного ресурса является важнейшей задачей неразрушающего контроля.

Для определения параметров магнитных отложений предлагается импульсный многопараметровый вихретоковый метод [1, 3].

При импульсном возбуждении ЭМП в начальные моменты времени сигнал электромагнитного отклика от трубы зависит только от удельной электропроводности металла [2]. Затем вихревые токи достигают нижней границы металла и позволяют судить о значении его толщины. Проникая затем в отложение, вихревые токи создают поле электромагнитного отклика, содержащее информацию об удельной электропроводности и относительной магнитной проницаемости отложения, и, достигая нижней границы отложения, поле вихревых токов несет информацию о толщине отложения.

В ходе разработки метода были проведены численные расчеты сигналов вихретокового преобразователя. Были выделены информативные параметры сигналов, позволяющие однозначно определить значения проводимости и толщины металла и отложения, а также относительной магнитной проницаемости отложения.

Таким образом, предлагаемый многопараметровый импульсный вихретоковый метод представляет технологический интерес, с точки зрения контроля качества труб промышленного назначения в процессе эксплуатации, прежде всего ввиду того, что все указанные параметры как объекта контроля, так и отложения, определяемые в процессе проведения этого метода, наиболее полно характеризуют физические свойства материала труб и отложений, а также их эксплуатационное состояние.

Литература

1. Герасимов В. Г., Покровский А. Д., Сухоруков В. В. Неразрушающий контроль в 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль. М.: Высшая школа, 1992.
2. Вайделих Д. Импульсные вихревые токи // Методы неразрушающих испытаний. М.: Мир, 1972.
3. Герасимов В.Г. Вопрос общей теории и применения метода вихревых токов для контроля многослойных проводящих изделий: Автореф. дис.... докт. техн. наук. 1970.

Е.Г. Пастухов, Д.С. Малушин, аспиранты;
рук. Л.А. Чернов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ВИХРЕТОКОВОГО ИМПУЛЬСНОГО МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЯ

В настоящее время металлоискатели находят применение в самых разных областях — от личного досмотра до поиска потерянных монет на пляже. Наиболее распространенной группой являются вихретоковые металлоискатели, так как принцип их работы предусматривает возможность портативного конструктивного исполнения.

Работа посвящена анализу сигналов вихретокового металлоискателя для последующей разработки портативного устройства, способного не только обнаруживать металлические объекты, но и выдавать о них максимально полную информацию, а именно: материал, из которого изготовлен объект, его геометрические размеры и положение в пространстве. Особенно важно отличать ферромагнитные материалы от цветных.

Таким образом, предстояло провести исследование зависимости вносимого напряжения от характеристик объекта: магнитной проницаемости, проводимости, расстояния, геометрического размера [1]. Было предложено возбуждающее напряжение в виде периодической функции специальной формы, что позволило представить его в виде суммы гармоник путем разложения функции в ряд Фурье [2]. Анализ каждой составляющей по отдельности свел импульсную задачу к гармонической, решение которой известно и его внешний вид, представлен на рис. 1. [3] Эксперименты проводились на математической модели физических процессов, созданной в программном пакете MathCAD.

Данный подход к решению импульсных задач позволит в дальнейшем значительно повысить эффективность существующих металлоискателей этого типа.

Литература

1. Шимони К. Теоретическая электротехника. М.: Мир, 1964.
2. Гинзбург С.Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. М.: Сов. радио, 1954.
3. Герасимов В.Г., Покровский А.Д., Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль. Кн. 3. Электромагнитный контроль. М.: Высшая школа, 1992.

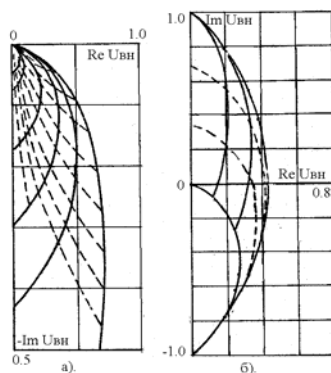


Рис. 1. Годографы для проводящего полупространства (а) немагнитного и магнитного (б)

ГЕНЕРАТОР НАПРЯЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ВИХРЕТОКОВОГО ИМПУЛЬСНОГО МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЯ

Наиболее распространенный тип генераторов возбуждения для вихрекового металлоискателя создает импульс тока в форме меандра. Данная форма обладает рядом существенных недостатков, в числе которых невозможность точно рассчитать длительность фронта данного сигнала, что приводит к введению задержек на съем полезной информации и, следовательно, к снижению чувствительности устройства.

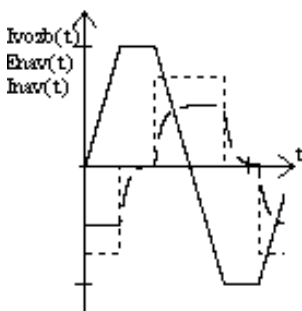


Рис. 1. Качественный характер зависимостей тока в возбуждающей катушке $I_{\text{возб}}(t)$, наводимого в объекте напряжения $E_{\text{нав}}(t)$, и тока $I_{\text{нав}}(t)$ от времени

В ходе данной работы был предложен и обоснован возбуждающий импульс в виде функции специальной формы, позволяющей принципиально разделить во времени действие собственно возбуждающего поля и поля «отклика» от объекта [1]. Качественный характер зависимостей тока в передающей катушке $I_{\text{возб}}(t)$, наводимого в объекте напряжения $E_{\text{нав}}(t)$, и тока $I_{\text{нав}}(t)$ от времени можно увидеть на рис. 1.

Также если длительность соответствующих участков трапеции достаточна, то будет соблюдаться и условие «накачки» объекта током. Для этого необходимо, чтобы за время длительности импульса линейно изменяющегося тока возбуждения ток в объекте успевал достигнуть установившегося значения [2, 3].

Кроме того, применение возбуждающего импульса данной формы позволяет легко масштабировать сигналы передатчика, что принципиально невозможно в случае возбуждения меандром. По результатам проведенных исследований были разработаны принципиальные схемы генератора и приемника соответствующих сигналов. На основе современной компонентной базы был создан и протестирован макет устройства.

Литература

1. Шимони К. Теоретическая электротехника. М.: Мир, 1964.
2. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1986.
3. Гинзбург С.Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. М.: Сов. радио, 1954.

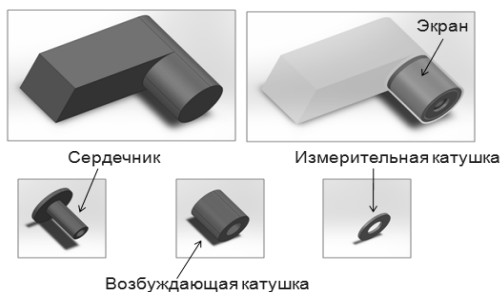
Д.Н. Пахомов, студ.; рук. Х. Брауер, к.т.н.
(ТУ Ильменау, Германия)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Вихретоковый контроль — это очень перспективное направление в области неразрушающего контроля, имеет широкую область применения и поэтому нуждается в постоянном совершенствовании. Для проведения вихретокового контроля объектов используются вихретоковые дефектоскопы с датчиками (см. рисунок), соответствующими целям измерений.

Целью данного исследования является получение информации о геометрических и электрофизических параметрах датчика дефектоскопа Elotest N300 [1].

Искомую информацию получали посредством анализа рентгеновских снимков датчика, измерений магнитной индукции поля датчика, моделирования методом конечных элементов и сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными. Для моделирования использовался пакет Comsol Multiphysics 4.3, а для измерений магнитной индукции датчика — гауссметр фирмы Bell [2].



Конструкция вихретокового преобразователя

При сравнении значений магнитной индукции, полученных при моделировании и при реальных измерениях датчика, погрешность составила 3 %. Таким образом, была произведена реконструкция геометрических и электрофизических параметров вихретокового датчика, необходимая для дальнейшего моделирования вихретокового метода неразрушающего контроля.

Литература

1. **Charles J. Hellier.** Handbook of Nondestructive Evaluation, 2003.
2. **Hartmut Brauer, Marek Ziolkowski.** Eddy Current Testing of Metallic Sheets with Defects Using Force Measurements. Serbian J. of Electrical Eng. Vol. 5 No. 1. 2008. May.

Д.А. Порубов, докт., М.Г. Шадрин, преп.; рук. В.А. Корнев, к.т.н., доц.
(КазНТУ, Алматы; ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск)

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

Неотрегулированная топливная аппаратура (ТА) в дизельных двигателях влияет на его мощностные, экономические, динамические и экологические показатели.

Высокое давление топлива и требования к точности делают топливную систему дизеля сложной и дорогостоящей. Снятие топливной аппаратуры и установка ее на двигатель после проверки и регулировки, с одной стороны, связано с затратами труда на монтажно-демонтажные работы, а с другой стороны, неизбежно приводит к ее повышенному износу. Исходя из вышесказанного, рассмотрим возможность экспресс-диагностики ТА непосредственно на двигателе во время его работы.

Одним из основных параметров диагностирования топливной аппаратуры является угол опережения подачи топлива (УОПТ). Известно [1], что топливопровод в момент впрыска топлива расширяется на 0,001 мм по диаметру. Для контроля и измерения УОПТ разработан оптический датчик, конструкция которого позволяет легко устанавливать его на топливопровод без демонтажа ТА.

Измерения проводились на лабораторном стенде, имитирующем работу дизельного двигателя. Сигнал регистрировался осциллографом при частоте вращения вала двигателя в пределах 600 оборотов в минуту.

В результате статистической обработки было установлено, что полученные измеренные значения подчиняются нормальному закону распределения. Определены вероятности появления ложного отказа $P_{л.о}$ и вероятность появления необнаруженного отказа $P_{н.о}$ на примере УОПТ. По полученным графическим моделям вероятности появления ложного и необнаруженного отказов можно прогнозировать достоверность постановки диагноза.

Полученные результаты испытаний подтверждают целесообразность разработки оптоэлектронного прибора для экспресс-диагностики ТА дизельных двигателей. Применение статистической обработки позволяет определить достоверность диагностического параметра [2] состояния объекта с некоторой вероятностью.

Литература

1. Гюнтер Г. Диагностика дизельных двигателей: пер. с немецкого Ю.Г. Грудского. М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2007. — 176 с.
2. Кулешов В.К., Корнев В.А. Моделирование процессов контроля и принятия решений: монография. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. — 295 с.

РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО МОЗАИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С СУХИМ АКУСТИЧЕСКИМ КОНТАКТОМ — ЭЛЕМЕНТА ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ТОМОГРАФА БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

В докладе приводятся результаты создания ультразвукового (УЗ) низкочастотного широкополосного мозаичного пьезопреобразователя — элемента УЗ фазированной антенной решетки (ФАР), предназначенной для томографии бетонных изделий при сухом акустическом контакте с поверхностью бетона. В докладе рассматриваются различные топологии мозаики, особенности технологии изготовления широкополосного пьезопреобразователя, обеспечивающего неискажающее преобразование широкополосных сигналов с центральной частотой $f_0 = 100$ кГц и полосой рабочих частот $\Delta f \leq 100 \% f_0$ [1]. Рассматриваются различные варианты обеспечения надежного акустического контакта с шероховатой поверхностью бетона, приводятся результаты выбора оптимального материала контактных протекторов.

Приводятся основные параметры пьезопреобразователей (элементов УЗ ФАР), включая пространственное распределение акустического поля широкополосного преобразователя, измеренное с помощью иммерсионного стенда TRITON 1000 (фирма TechTest, Испания).

Обсуждаются результаты сравнения характеристик разработанных в диссертации широкополосных мозаичных преобразователей с силиконовым протектором и преобразователей с сухим точечным контактом, предназначенных для УЗ томографа «A1040 MIRA», выпускаемого научно-производственной фирмой «Акустические контрольные системы» [2].

Литература

1. **Пространственно-временные характеристики ультразвуковых широкополосных преобразователей** / В.К. Качанов, И.В. Соколов, М.М. Конов и др. // Дефектоскопия. 2010. № 10. С. 11—25.

2. **Шевалдыкин В.Г., Самокрутов А.А., Козлов В.Н.** Ультразвуковые НЧ пьезопреобразователи с сухим точечным контактом и их применение для НК: Статья на сайте <http://www.acsys.ru>.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ МОЗАИЧНЫХ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ВЫСОКИМ ЗАТУХАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Ультразвуковой контроль крупногабаритных изделий из сложноструктурных материалов (бетона, полимерных композиционных материалов и др.) из-за аномально высокого интегрального затухания ультразвуковых (УЗ) волн проводится на низких частотах (НЧ) порядка 100 кГц. Необходимость высокой разрешающей способности контроля на таких низких частотах требует использования коротких сигналов (длительностью 1—2 периода несущей частоты), что требует создания УЗ НЧ широкополосных пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП). В большинстве существующих УЗ НЧ ПЭП такая широкая полоса обеспечивается за счет демпфирования пьезоэлемента [1], что приводит к существенному уменьшению чувствительности пьезопреобразователя. В [2] было показано, что использование мозаичной технологии позволяет создавать УЗ НЧ широкополосные ПЭП без потери в чувствительности электроакустического преобразования.

В докладе приводятся результаты разработки УЗ НЧ широкополосного ПЭП, обсуждаются топология мозаики, технология изготовления мозаичного широкополосного пьезопреобразователя, приводятся сравнительные амплитудно-частотные характеристики двух преобразователей одинаковой апертуры (50 мм) с одинаковой средней частотой ($f_0 = 100$ кГц): ультразвукового преобразователя Panamatrix Videoscan V1011 и разработанного в диссертации УЗ мозаичного преобразователя. Приведены пространственные характеристики обоих преобразователей, снятые с помощью иммерсионного стенда TRITON 1000 (фирма TechTest, Испания).

Литература

1. **Ультразвуковые** преобразователи для неразрушающего контроля / И.Н. Ермолов, М.Б. Гитис, М.В. Королев и др. М.: Машиностроение, 1986.
2. **Разработка** ультразвукового широкополосного мозаичного низкочастотного пьезопреобразователя с ограниченной апертурой / В.К. Качанов, И.В. Соколов, М.М. Конов и др. // Дефектоскопия. 2010. № 9. С. 26—33.

*И.Е. Синюгин, И.Ф. Галиев, студенты; Л.И. Евдокимов, асп.;
рук. А.В. Голенищев-Кутузов, д.ф.-м.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)*

КОМПЛЕКСНЫЙ СПОСОБ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Наиболее сложным моментом в диагностике рабочего состояния высоковольтных изоляторов является оценка остаточного ресурса по электрической и механической прочности. Для этих целей наиболее перспективным признан метод анализа частичных разрядов (ЧР).

Предложенный нами способ основан на одновременном детектировании сигналов (ЧР) от дефектов высоковольтных изоляторов, находящихся под рабочим напряжением, с помощью электромагнитного и акустического датчиков. Эти сигналы затем совместно анализируются по таким характеристикам, как интенсивность ЧР и частота следования. Наиболее значимыми параметрами являются не характеристики отдельно взятых импульсов, а средние значения параметров ЧР и формы их распределения по амплитуде и частоте приложенного напряжения. Они могут быть представлены в виде амплитудно-фазовых (АФД) и частотно-фазовых (ЧФД) диаграмм. Разработанное программное обеспечение позволяет не только сохранять исходные характеристики ЧР, но и их обработку путем сравнения с подобными характеристиками изоляторов того же типа, принятых за эталон [1].

На основании выполненных экспериментов разработана методика анализа характеристик ЧР и установлена корреляция между амплитудно-фазовыми и частотно-фазовыми характеристиками ЧР и степенью дефектности высоковольтных изоляторов. Показано, что одновременное детектирование сигналов ЧР с помощью двух типов датчиков значительно повышает точность определения места дефекта и его размеры, а также определение степени его влияния на дальнейший срок службы данного изолятора.

Литература

1. **Частичные** разряды в полимерных изоляторах / В.А. Голенищев-Кутузов, А.В. Голенищев-Кутузов, Д.Ф. Губаев и др. // Известия вузов «Проблемы энергетики». 2010. №7—8.

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ КРАНОВЫХ И ШАХТНЫХ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ДЕФЕКТОГРАММ ДЕФЕКТОСКОПА ИНТРОС

В связи с активным использованием в России канатных канатов для строительства и шахтных канатов для лифтов и добычи сырья, стоит актуальная задача определения дефектов в канатах. Основными дефектами являются обрывы проволок и удаленные сечения.

Неразрушающий контроль канатных канатов получил в настоящее время широкое распространение за счет удобства и высокой степени автоматизации. При проведении контроля основные проблемы возникают при идентификации дефектов, отличии их от конструктивных элементов и поиске на фоне посторонних шумов.

В данной работе разработан алгоритм обнаружения и классификации локальных дефектов. При обнаружении дефектов используется вероятностный подход, для сигналов с определенным отношением сигнал/шум строятся характеристики вероятности обнаружения дефектов различных типов. Для определения сложных видов дефектов необходимо проводить предварительную фильтрацию. Так, применение фильтров Баттерворта и Чебышева [1] позволяет увеличить вероятность обнаружения дефектов. На рис. 1 представлен пример построения ВОД-характеристики для шахтного каната типа D22NAT6X36WS-FC960ZS.

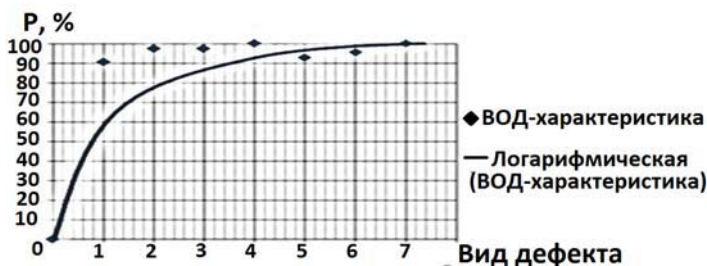


Рис. 1. Характеристика ВОД

Данный способ определения и обработки дефектов является одним из простейших и эффективных. Но в случаях сложных дефектов могут потребоваться дополнительные виды обработок сигналов.

Литература

1. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М., 1978.

А.А. Столяров, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБОК ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ

В связи с использованием атомной энергетики в России стала актуальной задача определения дефектов на элементах атомного реактора и системе отвода тепла от него, в том числе определение магнитных отложений на поверхности теплообменных труб парогенераторов.

В работе вихретоковый контроль производился проходным параметрическим датчиком [1]. Для получения точной информации следует использовать данные с абсолютного канала с минимальной частотой контроля. Отложения характеризуются большей протяженностью, чем дефекты (протяженность отложений представлена на рис. 1).

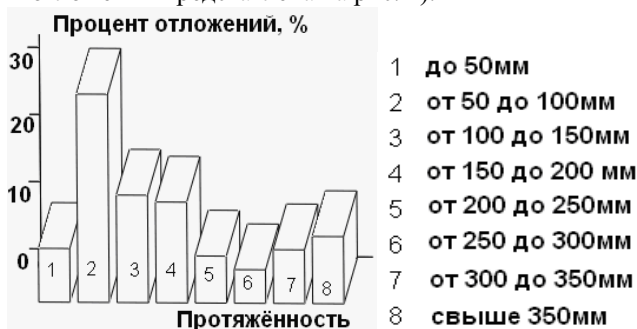


Рис. 1. Протяженность отложений

Критериями определения отложений в автоматическом режиме контроля являются протяженность и месторасположение индикаций при определенном уровне амплитуды. Протяженность индикации больше или меньше ширины решетки, то она считается отложением вне зависимости от месторасположения. Если протяженность индикации равна ширине решетки, то при сравнении с картой парогенератора принимается следующее решение: 1) расположение индикации совпадает с расположением решетки. Из этого следует, что индикация — решетка; 2) расположение индикации не совпадает с расположением решетки, значит индикация — отложение.

В дальнейшем планируется сосредоточить усилия на определении толщины отложений при автоматическом контроле трубного пучка.

Литература

1. Герасимов В.Г., Покровский А.Д., Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль. Кн. 3: Электромагнитный метод. — М.: Высш. шк., 1992. — 312 с.

*Д.В. Тимофеев, Р.В. Концов, аспиранты; рук. В.К. Качанов,
д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Наиболее распространенный ультразвуковой (УЗ) эхо-импульсный метод не позволяет контролировать крупногабаритные изделия из бетона из-за большого частотно-зависимого затухания УЗ-колебаний в бетоне. При снижении частоты зондирующего УЗ-сигнала до 100 кГц одноканальный контроль крупногабаритных бетонных изделий становится невозможен из-за неоднозначности в определении координат дефектов при использовании низкочастотных (НЧ) преобразователей с широкой диаграммой направленности. По этой причине в последние годы наиболее распространенным способом контроля бетонных изделий является многоканальная НЧ-томография, основанная на использовании УЗ фазированных антенных решеток (ФАР) [1].

В докладе рассматривается опыт применения УЗ НЧ-томографа «А1040 MIRA» (ООО АКС, Россия), в котором используется модифицированный алгоритм обработки сигналов SAFT-C. В основе построения томограммы изделия лежит алгоритм «фокусировка сигнала в точку», предусматривающий последовательный контроль в каждой точке изделия с последующим построением двухмерного изображения по совокупности парциальных измерений. Использование алгоритма SAFT-C позволяет контролировать сложноструктурные (при диаметре частиц наполнителя, например из гравия, 15—20 мм) бетонные изделия толщиной не более 50 см. Толщина контролируемого изделия ограничивается структурным шумом (многочисленными отражениями от «точечных» структурных неоднородностей), маскирующим отражение от дефекта и от дна изделия. В докладе показывается, что повысить отношение сигнал/структурный шум (тем самым увеличить толщину контролируемого изделия из бетона) возможно, используя модифицированный алгоритм обработки УЗ эхосигналов «фокусировка на плоскость», направленный на распознавание плоскостных отражателей и «не замечающий» точечные отражатели.

Литература

1. **Особенности** метода «фокусировка в точку» при ультразвуковой томографии изделий из сложноструктурных материалов / В.К. Качанов, И.В. Соколов, М.В. Туркин и др. // Дефектоскопия. 2010. №4. С. 30—44.

А.С. Тихон, А.В. Политов, студ.; рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПРИ ИММЕРСИОННОМ КОНТРОЛЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В докладе анализируются различные методы ультразвуковой томографии изделий. Показывается, что наиболее целесообразно использование метода построения двухмерного изображения (В-скана) контролируемого изделия по совокупности А-сканов.

В докладе обсуждаются результаты ультразвуковой томографии различных изделий, проведенных с помощью стенда для иммерсионной томографии TRITON 1000 (фирма TechITest, Испания) с блочно-модульным компьютерным промышленным ультразвуковым дефектоскопом USPC3100LA (фирма SOCOMATE, Франция). Показано, что в иммерсионном стенде возможно программным образом формировать одномерные (А-сканы), двухмерные (В-сканы) и трехмерные (С-сканы) изображения изделий. Иммерсионный стенд позволяет формировать различные алгоритмы перемещения измерительного модуля, в том числе и алгоритм, предусмотренный для пространственно-временной обработки эхосигналов с целью выделения их из коррелированных помех (структурного шума).

Приведены результаты ультразвуковой томографии однородных по структуре изделий и изделий, выполненных из сложноструктурных материалов. Показано, что с целью повышения качества изображения сложноструктурного изделия необходимо использовать многоканальную пространственно-временную обработку сигналов [1, 2]. В докладе показано, что при ультразвуковой томографии сложноструктурных изделий в качестве парциальных измерений следует использовать послойные изображения с последующим их суммированием, что приводит к повышению четкости изображения.

Литература

1. **Качанов В.К., Карташев В.Г., Соколов И.В.** Ультразвуковая помехоустойчивая дефектоскопия. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 280 с.
2. **Проблемы выделения УЗ сигналов из структурного шума при контроле изделий из сложноструктурных материалов / В.К. Качанов, В.Г. Карташев, И.В. Соколов, М.В. Туркин // Дефектоскопия. 2007. № 9. С. 71—86.**

*С.И. Трифонова, Д.С. Ложкова, А.С. Генералов,
А.С. Бойчук, аспиранты; рук. М.А. Далин (ФГУП «ВИАМ», Москва)*

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ПКМ)

Для реализации прогрессивных методов расчета прочностной надежности новых воздушных судов необходима информация о вероятности обнаружения/пропуска дефектов различного размера при неразрушающем контроле (НК), для чего необходимо установить общие подходы к разработке и изготовлению образцов с искусственными дефектами, разработать методику их исследования, гарантирующую объективные результаты, и математический аппарат для обработки полученных данных.

В ФГУП «ВИАМ» проводились работы, в результате которых поставленная задача была успешно решена. Были разработаны требования к образцам из ПКМ с заложенными дефектами и к процедуре их исследования для определения вероятности обнаружения дефектов различными методами НК. Разработан и реализован алгоритм, позволяющий строить зависимости вероятности обнаружения дефекта от его размера для методов НК, представляющих выходную информацию в виде бинарного отклика с заданным уровнем доверительной вероятности. В программной среде MathCad проведена проверка правильности работы алгоритма, заключающаяся в обработке данных НК, сгенерированных в соответствии с известным законом распределения. В результате был сделан вывод о корректной работе разработанного алгоритма и возможности его применения для оценки вероятности обнаружения дефектов в различных элементах конструкций из ПКМ.

М.Б. Федоров, асп.; рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АДАПТИВНЫЙ ПРОГРАММНО- АППАРАТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проблема ультразвукового (УЗ) эхоимпульсного контроля крупногабаритных изделий из сложноструктурных материалов (бетона, чугуна, полимерных композиционных материалов и др.) не решена до сих пор, в том числе и потому, что схема ударного возбуждения сигналов не позволяет осуществлять выделение «полезных» информационных эхосигналов из белого шума и коррелированной структурной помехи (структурного шума). Необходимость использования для этой цели помехоустойчивых методов обработки сигналов определила задачу разработки многофункционального адаптивного программно-аппаратного измерительного комплекса (ИК) УЗ-контроля [1]. Многофункциональность ИК означает возможность работать в различных качествах (дефектоскоп, толщиномер, томограф), возможность формирования любых простых и сложномодулированных сигналов, возможность осуществления многочисленных пространственно-временных методов обработки сигналов. Адаптивность ИК означает возможность гибкого изменения параметров зондирующего сигнала (частота, ширина спектра, вид модуляции, база сигнала и др.) в целях подстройки параметров сигнала под характеристики преобразователей и параметры контролируемого изделия; возможность гибкого применения различных радиотехнических способов обработки эхосигналов (синхронное детектирование, оптимальная фильтрация, спектральная, вейвлет-обработка), возможность существенного расширения функций прибора за счет синтеза новых алгоритмов обработок сигналов самим оператором в процессе контроля.

В докладе приведены примеры использования разработанного ИК при помехоустойчивом УЗ-контроле ряда крупногабаритных изделий из чугуна, бетона, полимерных композиционных материалов.

Литература

1. Качанов В.К., Карташев В.Г., Соколов И.В. Ультразвуковая помехоустойчивая дефектоскопия. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 280 с.

А.А. Фирсов, асп.; рук. В.Г. Гетманов, д.т.н., проф.
(НИЯУ «МИФИ»)

АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Системы дистанционного контроля вибраций на основе лазерных доплеровских виброметров широко распространены [1,2] и доказали свою эффективность при проведении измерений в агрессивных средах, труднодоступных местах и для хрупких конструкций.

Предлагается алгоритм получения оценок вибрационных параметров, который позволяет исключить оптический гетеродин из состава прибора, что упрощает его конструкцию и уменьшает размеры, позволяет получить оценки виброскорости как функции времени для более полного анализа объекта контроля.

Рассматриваемая система основана на одноточечном лазерном виброметре и работает аналогично интерферометру Майкельсона. Лазерный луч падает на вибрирующую поверхность объекта контроля и отражается. Вследствие эффекта Доплера в отраженном оптическом сигнале происходит доплеровский сдвиг частоты, пропорциональный виброскорости в сканируемой точке.

Полученный оптоэлектронный сигнал $y(t)$ содержит вибрационные параметры, оценки которых можно получить, используя предлагаемый аппроксимационный алгоритм.

Формируются локальные модели для сигнала $y_M(c,t)$ и фазовой функции $\delta\varphi_{dM}(c,t)c^T = (E_{01}, E_{02}, v_0, f_d, \varphi_d)$ — вектор искоемых параметров. Сигнал $y(t)$ аппроксимируется моделью $y_M(c,t)$ путем подбора оптимального вектора параметров модели c° , получаются оценки параметров вибрации. Из оценок v_0° , на локальных интервалах получается оценка виброскорости $v_d^\circ = [v_{d1}^\circ, \dots]$ в виде кусочно-постоянной функции на $(0, t_f)$.

Исходя из полученных результатов моделирования, делается вывод о работоспособности алгоритма.

Литература

1. **Aries**: LaserVibrometerVELA [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.aries.com.es/en/test-systems-instrumentation/newvela/id/407>. Дата обращения: 01.10.2012.

2. **Фирсов А.А., Гетманов В.Г.** Система бесконтактного виброконтроля на основе лазерного компьютерного виброметра с использованием аппроксимационных алгоритмов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XVIII международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. Тезисы докладов. 2012. Т. 2. С. 160—162.

А.А. Хвостов, асп.; рук. А.Д. Покровский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБ ПОДАВЛЕНИЯ МЕШАЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВИХРЕТОВОМ КОНТРОЛЕ

Подавление мешающих параметров играет очень важную роль при проведении неразрушающего контроля объектов в любой области. Проведение своевременной диагностики позволяет предотвратить техногенную катастрофу. Предлагаемый далее способ предполагает очень широкий спектр применения.

Одним из мешающих факторов при проведении неразрушающего контроля методом вихревых токов является нестабильность зазора между катушкой или сердечником вихретокового преобразователя и поверхностью объекта контроля. Эта нестабильность может быть вызвана колебаниями толщины диэлектрического покрытия на поверхности объекта контроля или отклонениями оси вихретокового преобразователя от нормали к поверхности при проведении ручного сканирования.

Мешающий фактор, заключающийся в нестабильности зазора, не удается исключить на этапе сбора данных, зато оказывается возможным исключить в процессе анализа и обработки данных. В предлагаемом способе контроля изделий из электропроводящих материалов снимают данные при вариации зазора на бездефектном участке изделия и на участке, содержащем калибровочный дефект. При изменении зазора до расстояния, на котором влиянием объекта контроля на сигнал вихретокового преобразователя можно пренебречь, изменяют фазу тока возбуждения вихретокового преобразователя так, чтобы сигнал от дефекта совпадал с направлением одной из осей комплексной плоскости.

Наличие и относительную величину дефекта на контролируемом участке устанавливают по относительной величине приращения сигнала в направлении выбранной оси от годографа, соответствующего бездефектному участку, относительно сигнала калибровочного дефекта, а относительную величину зазора устанавливают по приращению сигнала в ортогональном направлении выбранной оси комплексной плоскости от уровня, соответствующего минимальному зазору, относительно сигнала от максимального зазора.

Повышение точности вихретокового контроля по сравнению с другими способами контроля достигается за счет исключения влияния на результаты измерения контролируемого параметра изменений мешающего параметра во всем возможном диапазоне изменения его величины.

Направление
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА,
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Научный руководитель направления —

директор ИЭТ, к.т.н.,
профессор С.А. Грузков

Секция 22

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ

*Председатель секции — зав. каф. ЭМ, д.т.н., профессор
В.Я. Геча*

Секретарь секции — ст. преп. В.И. Гончаров

Аунг Тмин Тун, студ.; рук. В.И. Гончаров, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ЗУБЦОВЫХ ПУЛЬСАЦИЙ МОМЕНТА В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЯХ

Пульсации момента, обусловленные зубчатостью сердечников магнитоэлектрических двигателей, являются одним из существенных недостатков машин этого типа. Для снижения пульсаций предложено множество различных способов: скос зубцов или магнитов, нарушение регулярности формы зубцов, несимметричное расположение на периферии ротора поверхностных постоянных магнитов, секционирование магнитов по длине машины и т.д.

В работе сделан обзор публикаций по проблеме зубцовых пульсаций момента, появившихся в последнее время. На конечно-элементных моделях исследовано влияние характерных размеров поперечного сечения роторов магнитоэлектрических двигателей с встроенными магнитами, описанных в [1], на пульсации момента. Рассмотрено несколько различных конструкций, в том числе вариант с разделением ротора по длине на две части, смещенные друг относительно друга в тангенциальном направлении, и вариант с встроенными магнитами при использовании для магнитопровода ротора железоуглеродистых сплавов. Такие сплавы, обладающие при нормальных рабочих температурах высокой магнитной проницаемостью, при локальном нагреве до температуры около 1100 °С могут терять на участках нагрева свои магнитные свойства и не восстанавливать их после охлаждения [2]. Использование таких материалов в машинах со встроенными магнитами позволяет значительно увеличить толщину переемычек, по которым замыкаются потоки рассеяния магнитов, и тем самым повысить механическую прочность роторов и верхний предел скорости вращения.

Литература

1. **Optimization** of Interior PM Motors With Machaon Rotor Flux Barriers (Оптимизация двигателей с встроенными магнитами с двумя слоями немагнитных барьеров) / P. Alotto et al. IEEE Trans. on Magnetics. 2011. V. 47. No. 5. May. P. 958—961.
2. **Auman M. El-Rafaie, Thomas M. Jahns.** Application of Bi-State Magnetic Material to Automotive Offset-Coupled IPM Starter/Alternator Machine, IEEE, 2003.

А.В. Богачев, асп.; рук. Н.Ф. Котеленец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

Изменение напряжения автономного синхронного генератора неизбежно сказывается на работе потребителей. Поэтому одной из основных задач является поддержание напряжения автономного синхронного генератора с заданной точностью при имеющих место изменениях величины и коэффициента мощности нагрузки, а также скорости вращения приводного двигателя [1].

В работе рассматривается математическая модель автоматической системы регулирования напряжения автономного синхронного генератора с самовозбуждением, реализованная в программном пакете *Matlab-Simulink*, позволяющая решить поставленную задачу.

На рис. 1 представлена структурная схема регулирования напряжения генератора.

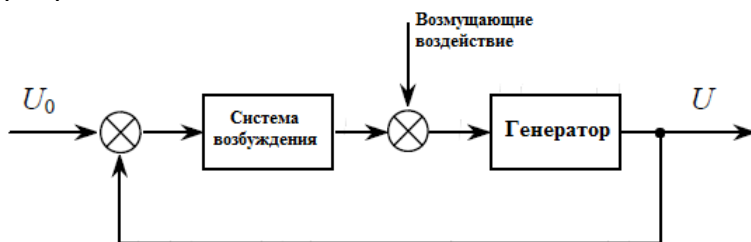


Рис. 1. Структурная схема регулирования напряжения генератора

Разработанная модель позволяет получить характеристики регулирования и параметры регулятора для получения надлежащих показателей качества регулирования, а также определить требования к системе возбуждения для поддержания напряжения с заданной точностью при различных возмущающих воздействиях в соответствии с ГОСТ Р 50783—95.

Также рассматривается возможность применения токового компаундирования.

Литература

1. Максимов Ю.И., Павлюченков А.М. Эксплуатация судовых синхронных генераторов. Л.: Транспорт, 1969.

РАСЧЕТ ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРЯМЫМ ОБРАЩЕНИЕМ К КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Целью исследования является создание и апробация системы динамического моделирования асинхронных машин с короткозамкнутыми роторами с учетом эффекта вытеснения тока в стержнях ротора.

В основе модели лежит решение системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \Psi &= U - R i; \\ \frac{d\Omega}{dt} &= \frac{\sum M}{J}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где Ψ — вектор потокосцеплений контуров; U — вектор напряжений; R — диагональная матрица сопротивлений; i — вектор токов; Ω — частота вращения; $\sum M$ — сумма моментов на валу; J — момент инерции на валу ротора.

При использовании разложения

$$\frac{d\Psi_k}{dt} \approx \sum_{j=1}^{3+Z} \frac{\Delta\Psi_k}{\Delta i_j} \frac{d i_j}{dt} + \frac{\Delta\Psi_k}{\Delta\alpha} \Omega \quad (2)$$

система уравнений (1) приводится к каноническому виду Коши.

Интегрирование системы уравнений (1) осуществляется методом Эйлера. Расчет взаимных индуктивностей контуров $L_{kj} = \Delta\Psi_k / \Delta i_j$ осуществляется на каждом шаге интегрирования по результатам конечно-элементного моделирования магнитного поля. Результаты представлены на рис. 1 в виде кривых изменения во времени частоты вращения, электромагнитного момента и токов статора. Разработан алгоритм параллеливания процесса расчета.

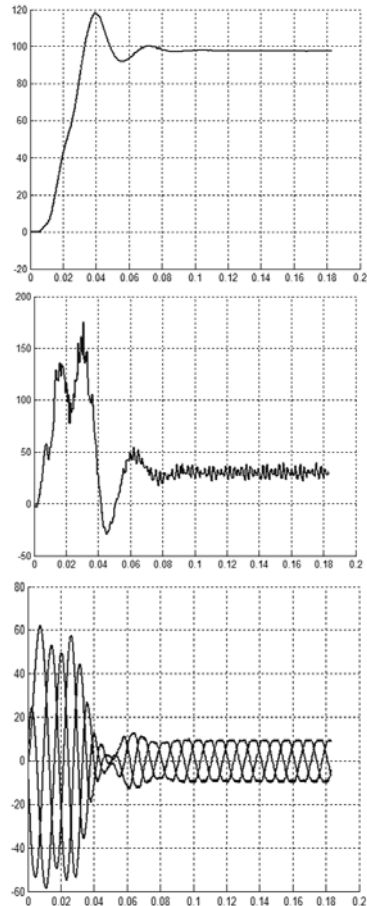


Рис. 1. Кривые пуска АД

Н.А. Габдуллин, асп.; В.И. Гончаров, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ ПОТЕРЬ В РОТОРЕ ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА НА ПРОСТЫХ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЯХ

Расчет потерь в стали массивных роторов всегда представлял собой важную задачу, особенно актуальную для высокоскоростных машин.

В известных методиках, основанных на аналитических решениях, обычно прибегают к суперпозиции потерь от отдельных гармоник. При этом предполагается постоянство магнитной проницаемости массива.

Оставаясь в рамках такого подхода, вместо аналитического решения можно воспользоваться моделированием на простых конечно-элементных моделях и тем самым учесть нелинейные свойства стали. Оценка точности такого метода можно получить, рассчитывая потери в машине с помощью современных сложных конечно-элементных моделей. В литературе имеется довольно много примеров того, как использование современных численных методов расчета полей позволяет снять основные ограничения аналитических методов и учесть реальную конфигурацию расчетной области – точно передать форму зубцов и воздушного зазора, учесть нелинейность стали, явление гистерезиса и т.д. Однако подобного рода расчеты часто связаны с большими вычислениями и могут потребовать применения машин повышенной производительности. В то же время расчет на простых моделях, представляющих один период гармонического поля, выполняется быстро, с помощью простых и доступных конечно-элементных программ.

В работе приводятся результаты расчета потерь в массивном роторе индукторного генератора с аксиальной обмоткой возбуждения. Рассматриваются два типа потерь — холостого хода, обусловленных зубчатостью статора, и потерь, обусловленных полем якоря. Каждое из полей раскладывается в гармонический ряд, и потери определяются для каждой гармоники. Оценка допустимости суперпозиции потерь выполняется при моделировании электрической машины переменного тока с заторможенным массивным ферромагнитным ротором.

В работе показано также, что при реформировании простых конечно-элементных моделей удобно воспользоваться правилами построения физических моделей, описанных в [1].

Литература

1. **Иванов-Смоленский А.В.** Электромагнитные поля и процессы в электрических машинах и их физическое моделирование. М.: Энергия, 1969.

О.Н. Гаврилова, студ.; рук. Е.М. Соколова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ДЕМПФЕР-АМОРТИЗАТОР

Обычные механические амортизаторы уменьшают динамические изменения нагрузки колеса и препятствуют поднятию колес с поверхности дороги, за исключением очень неровных поверхностей, и делают возможными более точные управление рулем и торможение. Они превращают кинетическую энергию приостановки движения в термическую или тепловую энергию. Но если используется электрический амортизатор, то кинетическая энергия колеблющегося объекта преобразуется в электрическую энергию и хранится в батарее [1, 2].

Основной задачей является проектирование и анализ работы электрического амортизатора. Система амортизатора состоит из линейного синхронного генератора с постоянными магнитами, пружины и аккумулятора электроэнергии. Для того чтобы определить требования, которым он должен удовлетворять, сначала изучались конструкция и производительность используемых в настоящее время амортизаторов. Для данного исследования были качественно проанализированы пять вариантов линейных синхронных генераторов с постоянными магнитами, и выбрана наиболее целесообразная к применению конструкция. Чтобы определить размеры, а также параметры его магнитных и электрических цепей, была написана вычислительная программа, использующая MatLab-SIMULINK.

Спроектированный линейный синхронный генератор с постоянными магнитами был изучен в стационарных условиях, чтобы определить его электромеханические характеристики. Для этих целей была предложена математическая модель генератора и написана программа в MatLab-SIMULINK, что позволило рассчитать его выходные параметры в различных условиях эксплуатации.

Линейный генератор обычно работает в динамических условиях внутри всей системы: генератор — пружина — управляемый выпрямитель — батарея. Поэтому в работе была также предложена и описана динамическая модель всей системы. Производительность электрического амортизатора, полученная при моделировании, была сравнена с параметрами механического амортизатора. Полученные результаты показывают, что электрический амортизатор может хранить часть восстановленной энергии в батарее. Следовательно, общая эффективность электропривода возрастает.

Литература

1. **Хитерер М.Я., Овчинников И.Е.** Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения. СПб.: КОРОНА-Век, 2008.
2. **Тамоян Г.С.** Линейные индукционные электрические машины. М.: МЭИ, 1994.

*А.В. Гук, студ.; рук. Д.И. Баловнев, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Для привода насосов, вентиляторов задвижек на АЭС в основном применяются асинхронные электродвигатели мощностью 0,25—160 кВт [1]. Для их надежной работы введена система планово-предупредительного ремонта (система ППР). Она представляет собой комплекс работ, проводимых по заранее составленному плану для предупреждения неожиданных выходов оборудования из строя.

По «Правилам технической эксплуатации станции и сетей» (ПТЭ) [2] периодичность капитальных и текущих ремонтов электродвигателей устанавливается по местным условиям. При этом имеется в виду, что периодичность ремонтов должна быть обоснована для каждой группы двигателей не только, например, по температуре и загрязненности окружающего воздуха, но и с учетом других местных условий, таких как требования заводов-изготовителей, выявившаяся недостаточная надежность отдельных узлов данной группы электродвигателей. Установленная на месте периодичность ремонтов должна, безусловно, обеспечить надежную работу электродвигателей. Одной из ключевых проблем при этом является проблема диагностики неисправностей, которая занимает относительно большую часть времени ремонта и требует немало человеческих ресурсов.

Поэтому актуальной является задача разработки эффективных методов диагностики неисправностей электродвигателей.

Классифицированы факторы, влияющие на электродвигатель в процессе эксплуатации. Проведён анализ основных неисправностей, которые можно разделить на внутренние и внешние, причины их появления, а также их признаки, по которым неисправность можно выявить у асинхронных электродвигателей. Рассмотрены известные способы обнаружения и устранения неисправностей электродвигателей. Разработаны алгоритмы поиска неисправностей в зависимости от различных признаков. Разрабатывается метод диагностики неисправностей на месте эксплуатации электродвигателей, который позволит сократить сроки ремонта и его стоимость.

Литература

1. **Долин П.А.** Справочник по технике безопасности. — 6 изд., переработанное и дополненное. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. **Атабеков В.Б.** Ремонт трансформаторов, электрических машин и аппаратов. М.: Высшая школа, 1988.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В СРЕДЕ MATLAB

Автотранспортные средства, построенные по гибридной технологии, представляют собой, в частности, сложные электромеханические системы, которые являются объектом исследования в данной работе. Объектом исследования является силовая электрическая часть гибридного автомобиля — тяговый электродвигатель и инвертор, с помощью которого осуществляется управление. В качестве тягового выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором как наиболее распространенный, дешевый и надежный вариант. Моделирование проводится в среде MATLAB Simulink. Основной целью моделирования такого тягового двигателя является анализ его режимов работы с учетом системы регулирования и расчет предельной тяговой характеристики, показанной на рис. 1. Каждая точка такой характеристики получена в результате расчета предельной механической характеристики АД при заданной частоте вращения. Прямолинейный участок характеристики обусловлен ограничением тока инвертора.

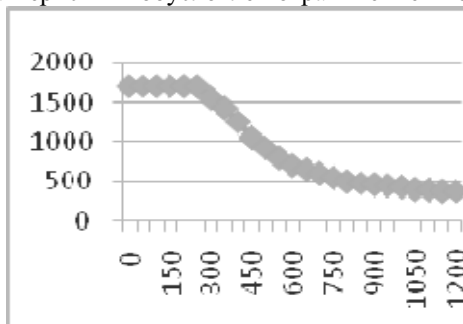


Рис. 1. Тяговая характеристика

Модель содержит следующие компоненты:

- 1) источник постоянного напряжения (бортовая сеть, DC);
- 2) инвертор — трехплечный, трехфазный тиристорный мост (Universal Bridge). Для управления им в данном случае используется готовая система Pulse Generator;
- 3) тяговый асинхронный двигатель;
- 4) нагрузка (момент сопротивления);
- 5) измерительные системы.

ИНВАРИАНТНАЯ БИБЛИОТЕКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Библиотека для формирования и исследования динамических моделей электрических цепей и каскадов электромеханических устройств в динамических режимах предназначена для создания приложений, адаптированных к решению задач численного моделирования электрических машин. Библиотека содержит следующий набор функций:

- формирования матрицы электрических и механических соединений (параметрический генератор электромеханической цепи);
- анализа матрицы соединений и упорядочения ее в соответствии с номиналами элементов схемы;
- построения дерева графа электромеханической цепи;
- формирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений по методу переменных состояния;
- интегрирования сформированной системы дифференциальных уравнений.

Матрица соединений A может быть построена либо в интерактивном режиме с использованием виртуального лабораторного стенда, либо программным путем с помощью параметрического генератора модели электромеханической цепи (рис. 1).

Сформированная система уравнений распадается на две подсистемы: для ветвей с индуктивностями и емкостями

$$\frac{d}{dt} X = M^{-1}F, \quad (1)$$

где X — вектор неизвестных величин; M — матрица коэффициентов; F — вектор правых частей;

для ветвей с сопротивлениями

$$X = M^{-1}F. \quad (2)$$

Результаты решения визуализируются в виде графиков изменения искомых величин во времени. Библиотека может быть использована для решения в среде MatLab проектных и исследовательских задач.

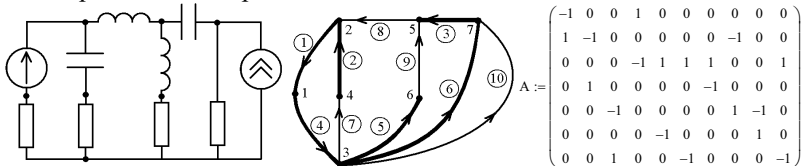


Рис. 1. Формирование матрицы соединений

*Д.С. Корнилов, асп.; рук-ли Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.;
В.П. Шишкин, к.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ТОРЦЕВОМ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ГЕНЕРАТОРЕ

Рассматривается конструкция торцевого генератора переменного тока с возбуждением от постоянных магнитов, работающего в составе ветроэлектрической станции (ВЭС) малой мощности (0,5—10 кВт). Такие ветроустановки все чаще находят применение в качестве основного или дополнительного источника электроэнергии в индивидуальных хозяйствах. Генераторы для малых ВЭС должны обладать надежностью, высокими энергетическими показателями и одновременно быть простыми в изготовлении, иметь минимальную стоимость, малые габариты и массу.

Наиболее полно данным критериям соответствует торцевая конструкция, включающая в себя пазовый или беспазовый якорь с витым сердечником и кольцевой обмоткой и двойной ротор с коллекторной системой возбуждения [1].

Первоочередной задачей при проектировании электромеханических преобразователей энергии является определение картины магнитного поля в активных частях машины. Это необходимо для расчета рабочего магнитного потока и потоков рассеяния, индуктивных проводимостей рассеяния обмоток. В исследуемом генераторе торцевой конструкции электромагнитный расчет осложняется тем, что поле в нем трехмерное, и приближенные расчеты методом магнитных цепей или решение конечно-элементных задач в плоскопараллельной постановке недостаточно достоверны.

Моделирование статического трехмерного магнитного поля выполнено с использованием модуля Magnetostatic программной платформы ANSYS Workbench. Расчет переменных трехмерных магнитных полей в активных частях генератора реализован в пакете программ Maxwell.

В настоящее время исследуется влияние формы магнитов, соотношения размеров магнитов и магнитопровода на распределение магнитного поля в генераторах различной мощности и частоты вращения.

Полученные результаты моделирования будут использованы при создании математической модели торцевого генератора на постоянных магнитах, которая позволит быстро и достаточно точно рассчитать распределение магнитного поля в машине без создания трехмерных моделей и без использования метода конечных элементов.

Литература

1. **Шишкин В.П.** Автоматизированное проектирование торцевых магнитоэлектрических генераторов переменного тока: учеб. пособие. Иваново: ГОУ ВПО «ИГЭУ им. В.И. Ленина». 2006. — 68 с.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В условиях отставания темпов модернизации электросетей от роста энергопотребления ухудшаются показатели качества электроэнергии. Отклонение напряжения от номинала в электросети связано с увеличением как активной, так и реактивной составляющей мощности. Однако недостающую реактивную мощность эффективнее не передавать из соседних энергосистем, а генерировать в регулирующих устройствах непосредственно у потребителя.

Компенсация реактивной мощности, в настоящее время, является немаловажным фактором в решении задач энергосбережения и снижения нагрузок на электросеть.

В дефицитных по активной мощности энергосистемах (загородные дома, коттеджи) уровень напряжения, как правило, ниже номинального. Для увеличения напряжения на входе потребителей используются регуляторы напряжения (стабилизаторы) корректирующие напряжение за счет увеличения потребляемого тока, что приводит к дополнительной нагрузке на электрическую сеть и снижению напряжения у смежных потребителей.

Для решения данных проблем, предлагается применение регулятора переменного напряжения, которое позволит сочетать в себе как функцию стабилизации напряжения, так и функцию генерации реактивной мощности.

Плавное фазовое регулирование осуществляется с помощью изменения коэффициента трансформации. Фильтрующая емкость в предлагаемом регуляторе выполняет как функцию достижения приемлемого КНИ (коэффициента нелинейных искажений), так и функцию генерации реактивной мощности. Величина генерируемой реактивной составляющей автоматически корректируется в зависимости от уровня напряжения сети.

В результате обеспечивается более полное рациональное использование фильтрующего элемента регулятора напряжения и компенсируется падение напряжения, обусловленное индуктивной составляющей тока.

Индивидуальный подход к генерации реактивной мощности с помощью предлагаемого регулятора позволит снизить нагрузку на сети малой мощности, что приведет к увеличению ресурса распределительных трансформаторов, уменьшению нагрева проводов и старения изоляции.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В МЬЯНМЕ

Действующий потенциал энергии ветра в Мьянме составляет около 365,1 ТВт·час/год. Но из-за высокой первоначальной стоимости, установок использование энергии ветра в Мьянме сейчас находится на экспериментальной и исследовательской стадии. Перспективными для использования источников энергии ветра являются холмистые районы Чин и Шан, прибрежные регионы и центральная Мьянма. В настоящее время доступных данных об источниках энергии ветра недостаточно, чтобы оценить подходящие площадки для строительства ветровых турбин. Однако считается, что западная часть страны имеет хороший потенциал для развития ветроэнергетики. Оценка ресурсов ветровой энергии с использованием современных систем сбора данных проводится с 1998 г. Мьянманский отдел научно-технических исследований (MSNRD) при министерстве науки и технологий выполнял научные исследования и опытно-конструкторские работы в области использования энергии ветра. Кафедра физики в Янгонском университете провела исследования энергии ветра. Кроме того, департамент электроэнергии и министерство электроэнергии в сотрудничестве с отраслью промышленного развития ветра в Японии построили станции метеорологических наблюдений, установили оборудование для солнечных измерений на некоторых участках в центральной Мьянме и областях нижней Мьянмы в целях сбора данных и проведения технико-экономического обоснования ветросолнечной системы. Результаты, полученные при разведочных работах, показывают, что возможными областями для использования энергии ветра являются места, где средняя скорость ветра составляет от 5,6 до 7,4 м/с. Выходная мощность электростанций находится в диапазоне от 55 до 225 кВт.

Ветрогенераторы на практике используются совместно либо с аккумуляторами, накапливающими энергию, либо совместно с другими источниками электроэнергии в системе. Это означает, что перегрузок в системе с ветрогенераторами быть не должно, поэтому можно использовать простые, эффективные и надежные асинхронные генераторы. Подобные ветрогенераторы были широко распространены в начальный период развития ветроэнергетики и до сих пор выпускаются в промышленных масштабах. При этом генератор малой мощности для автономного электроснабжения можно получить из серийного электродвигателя, обеспечив на валу требуемую частоту вращения с помощью механического мультипликатора.

РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В КАЗАХСТАНЕ

Республика Казахстан по своему географическому положению находится в ветровом поясе северного полушария, и на значительной части территории Казахстана наблюдаются достаточно сильные воздушные течения, преимущественно северо-восточного, юго-западного направлений. В ряде районов Казахстана среднегодовая скорость ветра составляет более 6 м/с, что делает эти районы привлекательными для развития ветроэнергетики. В этой связи Казахстан рассматривается как одна из наиболее подходящих стран мира для использования ветроэнергетики.

По удельным выбросам парниковых газов на единицу ВВП (6 кг CO₂/USD) Казахстан занимает третье место в мире. Таким образом высокая энергоёмкость экономики приводит к нерациональному использованию топливно-энергетических ресурсов, снижает конкурентоспособность экономики и приводит к существенному загрязнению окружающей среды.

В этих условиях представляется перспективным использование ветроэнергетического потенциала Казахстана для производства электроэнергии в объеме 900 млн кВт·ч в год к 2015 г. и 5 млрд кВт·ч. к 2024 г., что соответствует задачам, поставленным в Концепции перехода Республики Казахстан к устойчивому развитию на 2007—2024 годы и Стратегии индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2003—2015 годы по сохранению природных ресурсов и окружающей среды.

Целевыми показателями развития ветроэнергетики являются: ввод мощностей ВЭС до 300 МВт к 2015 г. с производством 900 млн кВт·ч электроэнергии в год и до 2000 МВт к 2024 г. с производством 5 млрд кВт·ч электроэнергии в год.

В настоящее время ведется строительство ветряной электростанции вблизи города Ерейментау в Акмолинской области. Установленная мощность 41,25 МВт обеспечивается применением 25 турбин Vestas NM82, в которых используются асинхронные генераторы номинальной мощностью 1650 кВт.

В рамках исследования этой электростанции проводятся моделирование режимов работы асинхронного генератора в среде MatLab, расчет характеристик единичного генератора и моделирование работы всего ветропарка, разработка методов регулирования выходных параметров ветроэлектростанции для обеспечения бесперебойного электроснабжения и обеспечения качества электроэнергии.

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Динамическая модель трансформатора представляет собой систему дифференциальных уравнений, которая для схемы соединения обмоток Y/Y имеет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{12} = i_1 r_1 + \frac{d\Psi_1}{dt} - i_2 r_2 - \frac{d\Psi_2}{dt}, \\ u_{23} = i_2 r_2 + \frac{d\Psi_2}{dt} - i_3 r_3 - \frac{d\Psi_3}{dt}, \\ 0 = i_4 (r_4 + R_{n4}) + \frac{d\Psi_4}{dt} + L_{n4} \frac{di_4}{dt} - i_5 (r_5 + R_{n5}) - \frac{d\Psi_5}{dt} - L_{n5} \frac{di_5}{dt}, \\ 0 = i_5 (r_5 + R_{n5}) + \frac{d\Psi_5}{dt} + L_{n5} \frac{di_5}{dt} - i_6 (r_6 + R_{n6}) - \frac{d\Psi_6}{dt} - L_{n6} \frac{di_6}{dt}, \\ i_1 + i_2 + i_3 = 0, \\ i_4 + i_5 + i_6 = 0; \end{array} \right. \quad (1)$$

здесь u_{jk} — линейное напряжение между фазами; i — ток обмотки; Ψ — потокосцепление обмотки; r — сопротивление обмотки; L — индуктивность рассеяния обмотки; R_n и L_n — активное и индуктивное сопротивление нагрузки.

Расчет динамических режимов трехфазного трансформатора осуществляется при наличии матриц потокосцеплений каждой m -й обмотки

$$\Psi_m = f(F_1, F_2, F_3), \quad (2)$$

где F_1, F_2 и F_3 — намагничивающие силы стержней трансформатора.

Главная проблема описанной модели состоит в построении матриц потокосцеплений (2), от точности которых зависит точность динамической модели трансформатора. Для этого предлагается использовать серию расчетов двухмерной модели магнитного поля в трансформаторе. Однако такая модель может быть неточна. В то же время расчет точной трехмерной модели трансформатора требует нескольких часов расчетного времени. Поэтому в настоящее время ведется работа по исследованию искажений, которые возникают в двухмерной модели магнитного поля в трансформаторе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ МАССИВНОГО РОТОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В настоящей работе исследуется влияние конструкции массивного ротора (МР) асинхронного двигателя на его рабочие и пусковые характеристики. Представлены математические модели двигателя с массивным ротором, основанные на теории цепей и теории поля. Расчеты выполнены с помощью современных программ моделирования электромеханических процессов в преобразователях энергии.

Основным недостатком двигателей с массивным ротором являются низкие энергетические показатели. Причиной этому служит малый электромагнитный момент, действующий в области малых скольжений. Некоторыми исследователями [1] для улучшения энергетических показателей предлагается выполнение на роторе прямоугольных пазов определенного размера. С учетом этого было исследовано влияние размеров прямоугольного паза на электромагнитный момент двигателя с помощью полевой модели двигателя в квазистационарной постановке, и это позволило сформулировать положения, позволяющие достичь высоких энергетических показателей для машин такого типа:

- 1) увеличение площади поперечного сечения на пути тока ротора;
- 2) отсутствие узких участков магнитной цепи ротора, которые могут насыщаться и не пропускать поток вглубь ротора.

В таблице приведены сравнения электромагнитные моменты, действующие на ротор при различных его конфигурациях.

Сравнение моментов при разных конфигурациях ротора

Показатель	АД с БК	Гладкий МР	Прямоугольный	Ромбовидный	Крестообразный
Момент, Н·м	8,27	3,79	6,02	6,92	7,21
КПД	0,84	0,64	0,71	0,72	0,72
cosφ	0,91	0,81	0,89	0,89	0,87
Время пуска, мс	250	140	115	110	110

Таким образом, за счет изменения конструкции активной зоны ротора однозначно удалось улучшить характеристики АД с МФР. Полученные расчеты позволяют говорить о перспективах улучшения характеристик двигателей с массивным ротором.

Литература

1. **Куцевалов В.М.** Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами. — М.: Энергия, 1966. — 301 с.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ И НАГРУЗКИ

В промышленной сети переменного тока возможны колебания напряжения в достаточно широких пределах ($\pm 5\%$). Изменения напряжения на зажимах АД может возникать также в случае подключения компенсаторов реактивной мощности перед двигателем [1].

Расчеты показывают, что при изменении питающего напряжения потребляемый ток меняется нелинейно и имеет минимум, смещающийся с ростом номинальной нагрузки в сторону все больших значений напряжения. Можно сделать следующий вывод — увеличение напряжения для мощных (свыше 100 кВт) двигателей приводит к уменьшению потребляемого тока для любого уровня нагрузки. Для двигателя с номинальной мощностью в единицы или десятки киловатт повышение напряжения ведет к росту потребляемого тока. Изменение потребляемой мощности для АД с номинальной мощностью 15 кВт составляет $\pm 2,5\%$. Для АД мощностью 200 кВт изменение потребляемой мощности составляет $\pm 1,5\%$. При изменении напряжения также изменяется коэффициент мощности, зависимости которого от напряжения приведены на рис. 1.

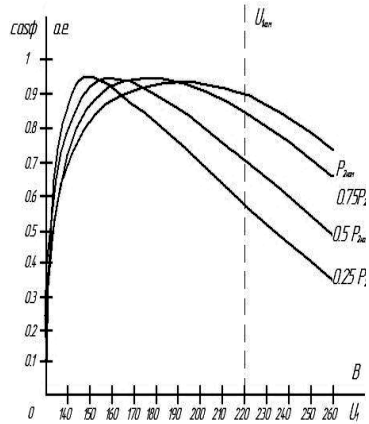


Рис. 1. Изменение коэффициента мощности

По результатам расчетов, можно сделать следующие выводы:

- повышение питающего напряжения при постоянной мощности на валу приводит к некоторому улучшению энергетических показателей двигателя;
- изменение характеристик зависит от мощности двигателя и от его нагрузки, причем у малоомощных двигателей изменение характеристик более ярко выражено;
- оптимизировать показатели асинхронного двигателя можно, если использовать регулятор напряжения, устанавливаемый между двигателем и сетью.

Литература

1. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. М.: Академия, 2010. — 320 с.

КОМБИНИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Одной из главных проблем при проектировании электрических машин является уточненный тепловой расчет. В настоящее время подобные расчеты реализуются на основе метода конечных элементов. Главная сложность при этом возникает при моделировании процессов теплопередачи в жидких и газообразных средах, которые основываются на решении уравнения Навье—Стокса, что сопряжено с использованием сложных математических алгоритмов. Вместе с тем современное состояние компьютерной техники позволяет существенно упростить математический аппарат путем использования имитационных моделей.

Предлагается следующий алгоритм моделирования систем охлаждения. По результатам проектного расчета строится конечно-элементная модель для расчета магнитного поля и теплового поля в твердых средах. Затем определяются теплотери в элементах магнитной системы. Теплоотдача с поверхности твердых сред, а также процессы теплопередачи в жидких и газообразных средах моделируется путем имитации этих сред системой расчетных частиц, поведение которых определяется законами молекулярной физики.

Аэрогидродинамическая модель строится на основе положений теории подобия. Каждая i -я частица обладает массой m'_{0i} и движется в пространстве со скоростью \vec{v}'_i , которые связаны с реальной массой m_{0i} и скоростью \vec{v}_i молекулы газа масштабами подобия m_m и $m_v = m_l / m_t$. Скорости молекул задаются в соответствии с распределением Максвелла. В качестве независимых масштабов используются масштабы по массе m_m , пространству m_l , времени m_t , количеству молекул $m_N = N' / N$ и их эффективному диаметру $m_d = d' / d$. Зависимые масштабы по давлению m_p , температуре m_T , энергии m_W и т.п. рассчитываются по формулам, выведенным с применением первой теоремы подобия из анализа уравнений связи.

Из модели определяется концентрация частиц n' в элементарных объемах. Реальные значения давления p , температуры T и количества тепла Q , переданного через теплопроводную стенку, определяются по формулам:

$$p = \frac{n'm'_0}{3N'm_p} \sum_{i=1}^{N'} (v_{xi}^2 + v_{yi}^2 + v_{zi}^2), \quad T = \frac{p'}{m_T n' k}, \quad Q = \frac{i}{3m_W} \sum_{i=1}^{N'} \left[\frac{m'_0}{2} (v_{i+}^2 - v_{i-}^2) \right], \quad (1)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана; v'_{i+} и v'_{i-} — скорость i -й частицы до и после столкновения со стенкой. Величины со штрихом относятся к модели, без штриха — к оригиналу.

В.А. Семин, студ.; рук. ст. преп. В.И. Гончаров (НИУ «МЭИ»)

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С РЕГУЛИРУЕМОЙ НАМАГНИЧЕННОСТЬЮ МАГНИТОВ

Рассматриваются электродвигатели нового типа, известные в зарубежной литературе как двигатели с магнитной памятью (В. Остович, 2001 г.: *Memory motors*). Принцип их действия заключается в следующем. На статоре кроме импульсно-управляемой обмотки якоря находятся низкокоэрцитивные (из сплава Альнико) постоянные магниты, намагниченность которых может изменяться под действием единичных импульсов тока в дополнительных намагничивающих обмотках. В одном из вариантов большая часть потока создается высококоэрцитивными магнитами, а Альнико-магниты служат для импульсного регулирования этого потока.

В работе выполнено исследование машин этого типа на двухмерных конечно-элементных моделях. Использована программа *FEMM*. Опытным путем найдено оптимальное распределение плотности конечных элементов расчетной конечно-элементной структуры. На языке *Lua* составлены скрипт-программы, позволяющие на основе последовательного решения магнитостатических задач рассчитывать электромеханические временные процессы. Оценено влияние угла рассогласования, соответствующего началу коммутационного цикла на электромагнитный момент, развиваемый двигателем.

Литература

1. **Design and Analysis of a New Flux Memory Doubly Salient Motor Capable of Online Flux Control** (Расчет и проектирование нового типа двигателей с изменяемой намагниченностью магнитов, с возможностью регулирования магнитного потока в процессе работы) / Zhu X., Quan L., Chen et al D. // *Ieee Transactions on Magnetics*. 2011. V.47. №10.P. 3220—3223.

А.О. Сидоров, студ.; рук. В.Я. Беспалов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Возросшие возможности полупроводниковых преобразователей частоты приводят к вытеснению коллекторных машин более дешевыми, надежными и экономичными бесконтактными машинами переменного тока, которые обеспечивают более высокие скорости вращения и динамику, характеризуются лучшими массогабаритными и ресурсными показателями. В настоящее время асинхронные двигатели являются наиболее распространенными машинами, поэтому их применение в электроприводе переменного тока является актуальной задачей.

Наибольшими возможностями асинхронный двигатель обладает при частотном способе регулирования скорости [1]. Данный способ широко используется для регулирования переменных электропривода асинхронных двигателей с высокими показателями качества.

В работе представлена математическая модель асинхронной машины и вентильных преобразователей, рассматриваются энергоэффективные режимы асинхронного двигателя и приводится их сравнительный анализ (см. таблицу).

Тип электрического двигателя	Режим двигателя	Область предпочтения режима
Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором	1	Близок $\Delta p = \min$
	2	$0,25 \leq m \leq 0,74$
	3	$0,45-0,35 \leq m \leq 1,12-1,45$
	4	$0,45-0,35 \leq m \leq 1,12-1,45$

Обозначения: 1 — режим минимального тока статора; 2 — режим постоянства полного потока, сцепленного с обмоткой статора; 3 — режим постоянства главного потока, сцепленного с обмоткой статора и ротора; 4 — режим постоянства полного потока, сцепленного с обмоткой ротора; Δp — значение суммарных потерь двигателя; m — область нагрузок.

Результаты анализа позволяют в каждом конкретном случае определить наиболее выгодный с энергетической точки зрения режим работы двигателя.

Литература

1. **Осипов О.И.** Частотно-регулируемый асинхронный электропривод. М.: Издательство МЭИ, 2004.
2. **Поляков В.Н., Шрейнер Р.Т.** Энергоэффективные режимы регулируемых электроприводов переменного тока. Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2012.

Е.А. Степанов, студ.; рук. Г.И. Бояринов, к.т.н., проф.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА СЕРИИ 4П

Целью работы является создание учебной методики проектирования двигателей постоянного тока современных серий, в том числе серии 4П, на основе использования конечно-элементной программы *FEMM* для расчета магнитных полей.

В настоящий момент методика проектирования таких двигателей является закрытой и представляет коммерческую и производственную тайну. Классические же примеры расчета в учебниках МЭИ затрагивают проектирование устаревших двигателей серии 2П [1, 2]. Серия 4П имеет ряд принципиальных конструктивных отличий, главным из которых является отказ от классической конструкции статора в пользу простых и массово выпускающихся статоров асинхронных двигателей, что делает принципиально невозможным расчет статора ДПТ по классической методике.

Основной проблемой на этапе расчета магнитного поля статора в этом случае становится наличие распределенной обмотки (основной и добавочных полюсов). Отправной точкой расчета статора и его принципиальной теоретической основой является получение картины поля (пока в качественном виде). Задача получения картины поля не может быть упрощена до нахождения индукции на малом числе условно однородных участков, так как при дальнейшем использовании это даст неприемлемую погрешность. При отсутствии данных для серийных современных двигателей, единственно возможным способом их получения является моделирование поля обмоток статора.

Моделирование проводится с помощью программы *FEMM* методом разбиения области моделирования на конечное число разновеликих областей, что позволяет оптимизировать процесс и получить поле, достаточно близкое к реальности. Такой подход позволяет учесть влияния обмотки якоря и компенсационной обмотки на распределение поля в машине. Все необходимые для расчета величины и формы кривых МДС и индукции вдоль зазора могут быть легко получены в явном численном и графическом виде соответственно.

Литература

1. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. СПб.: Питер, 2008.
2. Иванов-Смоленский А.В., Кузнецов В.А. Универсальный численный метод моделирования преобразователей и систем // Электричество. 2000. № 7.

Д.М. Тихомиров, студ.; рук. А.К. Громов к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРАХ С ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

В настоящее время неучастие потребителей в компенсации реактивной мощности собственными источниками и работа с пониженным коэффициентом мощности привели к нарушению баланса реактивной мощности в энергосистемах и снижению технико-экономической эффективности систем электроснабжения [1].

Традиционные синхронные турбо- и гидрогенераторы, соответствовавшие по своим характеристикам условиям работы, характерным для отечественных энергосистем 40—50 лет назад, в годы активного увеличения генераторного парка энергетической промышленности, не всегда удовлетворяют новым требованиям, определяемым современными особенностями режимов энергосистем. Поэтому в нашей стране, а также за рубежом, более 30 лет проводятся исследования и разработки, давшие уже положительные результаты, по созданию и использованию, наряду с традиционными (синхронными) генераторами, машин с продольно-поперечным возбуждением. Они несколько дороже, но зато имеют улучшенные технические и эксплуатационные характеристики [2].

В предстоящей работе планируется провести анализ режимов работы турбомашин с продольно-поперечным возбуждением с отдельным регулированием активной и реактивной мощностей. Основа анализа — математическая модель турбогенератора на базе обобщенной электрической машины. Кроме прочего, планируется попытка реализации полученной математической модели в нескольких программно-математических комплексах для получения наибольшего количества и вариантов параметрических данных, исследуемого объекта. Это позволит получить наиболее подробные сведения о точности проводимых операций.

В дальнейшем планируется рассмотреть возможности использования модели для анализа процессов в асинхронизированном синхронном генераторе.

Литература

1. **Еремин И.В.** Исследование характеристик неявнополюсного синхронного генератора с продольно-поперечным возбуждением: Магистерская диссертация. Иваново, 2010.

2. **Осин И.Л., Шакарян Ю.Г.** Электрические машины: Синхронные машины: учеб. пособие для вузов по спец. «Электромеханика» / под ред. И.П. Копылова. — М.: Высш. шк., 1990. — 304 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Важную проблему, с которой связана эксплуатация асинхронизированных турбогенераторов (АСТГ), представляет работа электрических систем в часы снижения активной нагрузки — в ночное время и выходные дни. Возникающий при этом избыток реактивной мощности приводит к недопустимому повышению напряжения в электрических сетях. Известно, что напряжение синхронного турбогенератора (СТГ) по отношению к электрической системе находится в противофазе ($U_C = -U$), поэтому при перевозбуждении СТГ представляет собой нагрузку емкостного характера, генерирующую реактивную мощность (РМ), а при недовозбуждении — нагрузку индуктивного характера, потребляющую РМ.

Для того чтобы СТГ мог потреблять избыток РМ из сети, его переводят в режим недовозбуждения. Но область потребления им реактивной мощности ограничена условиями статической и динамической устойчивости, за пределами которых работа синхронных машин в синхронном режиме невозможна [1]. Именно для решения этой проблемы служат АСТГ.

Поставленная задача сводится к определению характеристик АСТГ ТЗФА-110 в виде зависимостей: частоты переменных токов в обмотках возбуждения от скольжения; токов в обмотках возбуждения от величины активной мощности и коэффициента мощности, а также к определению асинхронной составляющей электромагнитного момента, обусловленной взаимодействием токов массива ротора с результирующим магнитным полем турбогенератора.

Решение задачи производится двумя путями: на основе опытных данных промышленной эксплуатации головного образца АСТГ ТЗФА-110 на ТЭЦ-22 ОАО «Мосэнерго» и на основе численного расчета в программе Ansoft «Maxwell» [2].

Литература

1. **Осин И.Л., Шакарян Ю.Г.** Электрические машины: Синхронные машины. М.: Высш. шк., 1990.
2. **Опыт** промышленной эксплуатации головного образца асинхронизированного турбогенератора ТЗФА-110 на ТЭЦ-22 ОАО «Мосэнерго» / В.Е. Зинаков, Е.В. Чернышев, Г.А. Кузин и др. // Электрические станции. 2005. № 11.

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ МОТОР-КОЛЕСА

Бурный рост городского автотранспорта привел к необходимости разработки машин, не загрязняющих воздушные бассейны выхлопными газами, имеющих низкий уровень шума и прогрессивные конструктивные решения. Современные технические системы имеют ряд недостатков по своим техническим и экономическим показателям за счет наличия редуктора, так как всегда предполагается определенный процент потерь передаваемой мощности за счет сил трения [1].

Новая концепция безредукторного привода исключает многие механические потери между двигателем и рабочим агрегатом. При выполнении привода ведущих колес по типу «мотор-колесо» в едином агрегате конструктивно объединены тяговый электродвигатель и механическая передача, соединяющая его с колесным движителем [2].

В качестве двигателя безредукторного привода выбран и спроектирован вариант бесконтактной синхронной электрической машины с кольцевой обмоткой на статоре и высококоэрцитивными постоянными магнитами на роторе, что обеспечивает более широкие функциональные возможности в самых тяжелых условиях и режимах по сравнению с асинхронной. При этом для большинства объектов управления бесконтактный двигатель выполняется тихоходным. Высокий КПД — характерный признак такого низкооборотного, но высокомоментного двигателя с частотным управлением [3].

Магнитоэлектрический двигатель способен также работать в режиме генератора электрической энергии [4]. Конструкция якоря электрической машины позволяет упростить обмотку, обеспечить надежное крепление обмотки к сердечнику, защитить обмотку от различных воздействий. За счет очень малых лобовых частей кольцевой обмотки электрическая машина имеет лучшие энергетические и массогабаритные характеристики.

Литература

1. **Ставров О.А.** Перспективы создания эффективного электромобиля. — М.: Наука, 1984. — 88 с.
2. **Яковлев А.И.** Конструкция и расчет электромотор-колес. — М.: Машиностроение, 1970. — 238 с.
3. **Исмагилов Ф.Р.** Электромагнитные элементы систем управления со сложной геометрией ротора. — Уфа: УГАТУ, 1997. — 139 с.
4. **Пат. РФ № 112536.** Магнитоэлектрический электромеханический преобразователь с кольцевой обмоткой / Ф.Р. Исмагилов, И.Х. Хайруллин, П.А. Чильдинов. 2011.

РАСЧЕТ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОТЕРЬ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ МОДУЛИРОВАНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ

В современных электроприводах широкое распространение получили асинхронные двигатели (АД), питание которых зачастую производится от преобразователя частоты (ПЧ). Сигнал на выходе ПЧ формируется методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ) напряжения. Выходной сигнал ПЧ с ШИМ помимо основной гармоники содержит спектр высших гармоник, которые вызывают в АД дополнительные потери [1]. Величина дополнительных потерь зависит от гармонического состава выходного сигнала ПЧ, который в свою очередь зависит от способа и параметров ШИМ. Параметрами ШИМ являются скважность (γ) и число импульсов на полупериоде (N). Основные способы ШИМ: с постоянной шириной импульсов, с синусоидально изменяющейся шириной импульсов, с синусоидально изменяющейся высотой импульсов, с импульсно-ступенчатой высотой импульсов.

Методика расчета дополнительных потерь основывается на разложении сигнала на выходе ПЧ в гармонический ряд и расчете схемы замещения АД для каждой гармоники [1]. С помощью данной методики в среде Mathcad был произведен расчет увеличения потерь в АД мощностью 170 кВт, предназначенном для установки в качестве тягового двигателя метропоезда. Параметры ШИМ $N = 36$, $\gamma = 0,542$. Расчет показал, что при питании импульсами постоянной ширины суммарные потери увеличиваются на 114,1 %, при питании импульсами с синусоидально изменяющейся шириной — на 43,1 %, при питании импульсами с синусоидально изменяющейся высотой — на 82,1 %, при питании импульсно-ступенчатым сигналом — на 82 %.

Результаты расчета позволяют сделать вывод о том, что наиболее энергоэффективным способом формирования ШИМ является синусоидальное изменение ширины импульсов. Расчет позволяет прогнозировать увеличение потерь в данном АД при его питании от ПЧ с ШИМ напряжения при данных параметрах N и γ .

Литература

1. Казаков Ю.Б., Андреев В.А., Сухинин В.П. Энергоэффективность асинхронных двигателей при вариациях режимных и конструктивных параметров. Ивановоб Ивановский государственный энергетический университет. —2012. — 132 с.

П.В. Шилов, студ.; рук. Ю.В. Рахманова, к.т.н., доц. (УГАТУ, г. Уфа)

ТРАНСФОРМАТОР ТМ 250/10/0.4

Электрический трансформатор является важным и неотъемлемым элементом в современных электрических сетях и электрических комплексах. Без него невозможно обеспечить функционирование множества значимых в современном мире объектов, поэтому построение адекватной математической модели электрического трансформатора является актуальной задачей.

Перспективным направлением в трансформаторостроении является отказ от традиционных изоляционных материалов. В связи с этим все чаще за рубежом и в России на подстанциях стали использовать трансформаторы с газовым наполнением, где в качестве изоляционного материала используется не масло и синтетические смолы, а специальный газ — элегаз. Трансформаторы с элегазовым заполнением обладают превосходными изоляционными характеристиками и эффективно охлаждаются, их отличает температурная устойчивость. Такими свойствами они обладают благодаря герметично содержащемуся в их рабочих емкостях газа, который при этом негорюч, безвреден, не имеет запаха.

Другой наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов — это применение магнитопроводов из аморфных сплавов, при этом обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с традиционными магнитопроводами.

Проведена работа по проектированию трансформатора по аналогии с существующими установками. В результате проделанной работы была создана математическая модель трансформатора и исследованы его характеристики, проведены электромагнитные и тепловые расчеты для различных режимов работы.

Планируется провести оптимизацию параметров трансформатора с применением современных изоляционных и магнитных материалов с целью увеличения эффективности и надежности работы трансформатора.

Литература

1. **Трансформаторы:** учебное пособие / Ф.Р. Исмагилов, Н.К. Потапчук, Ш.Г. Исмагилов и др. Уфа: УГАТУ, 2012. 135 с.
2. **Абдурашитов Ш.Р.** Общая энергетика: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Уфа: УГАТУ. 2006. 334 с.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ НА ТРЕУГОЛЬНОЙ СЕТКЕ

Основным методом расчета физических полей в настоящее время является метод конечных элементов (МКЭ). Долгое время МКЭ конкурировал с более простым в алгоритмизации методом конечных разностей (МКР). Выбор в пользу МКЭ в современных системах инженерных расчетов был сделан благодаря тому, что МКЭ лучше аппроксимирует границы раздела сред, требует меньшего количества элементов для получения одинаковой с МКР точности и позволяет применять прямые методы решения систем алгебраических уравнений. Правда, из-за «проклятия размерностей» с ростом количества узлов КЭ-сетки прямые методы использовать невозможно. Поэтому в задачах с мелкой КЭ-сеткой и в трехмерных полевых задачах для решения систем уравнений в настоящее время часто используются итерационные методы. Это устраняет одно из существенных различий между МКЭ и МКР. В результате остается только одно преимущество МКЭ перед МКР — более точная аппроксимация границ раздела сред.

В настоящее время в ИГЭУ разрабатывается версия МКР, в которой данное достоинство МКЭ совмещено с простотой алгоритмизации МКР. Расчетная область разбивается на треугольные элементы таким образом, чтобы границы раздела сред совпадали со сторонами треугольников. Распределение векторного магнитного потенциала (ВМП) в пределах элемента (рис. 1) определяется по формуле

$$A(x, y) = \frac{1}{2S_{\Delta i}} \sum_{i=1}^{i=3} (a_{\Delta i} + b_{\Delta i}x + c_{\Delta i}y)A_{\Delta i}, \quad (1)$$

где $A_{\Delta i}$ — значение ВМП в i -м узле треугольника; $a_{\Delta i}$, $b_{\Delta i}$ и $c_{\Delta i}$, коэффициенты, определяющиеся координатами; S_{Δ} — площадь треугольника.

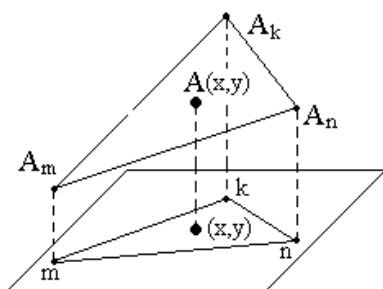


Рис. 1. Линейная аппроксимация поля треугольными элементами

Вокруг каждого узла КЭ-сетки строится локальная конечно-разностная (КР) сетка. ВМП в узлах КР-сетки, попадающих в пределы элементов КЭ-сетки, на каждой итерации рассчитывается по (1). ВМП в узлах КЭ-сетки считается в соответствии с МКР. Нелинейность элементов учитывается традиционным для МКР способом.

Метод легко распараллеливается и прост в алгоритмизации.

Секция 23

ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОНЕНТОВ

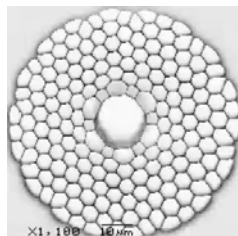
*Председатель секции — ректор МЭИ, д.т.н., профессор
С.В. Серебрянников*

Секретарь секции — к.т.н., доцент В.К. Шеметова

Г.И. Бадамшин, студ.; рук. А.Г. Корякин, асс. (НИУ «МЭИ»)

СОВРЕМЕННЫЕ ТИПЫ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

В работе рассматриваются основные типы волоконных световодов, применяемых для производства оптических кабелей, конструкции, материалы, технологические процессы и методы производства оптического волокна. Произведен сравнительный анализ современных методов производства оптических волокон, а именно: метода парофазного осаждения, метода химического осаждения и плазменный метод осаждения. Приводится описание установок для производства оптических волокон фирм Corning Glass, OFS, Furukawa, Silitec Fibers. Рассмотрены различные методы производства оптического волокна, их преимущества и недостатки. Современные методы существенно сокращают время производства оптоволокна, что сказывается на уменьшении его себестоимости. В докладе приводятся основные характеристики многомодовых и одномодовых оптических волокон следующих типов: одномодовое, рекомендация ITU-T G.652.B (в маркировке тип «Е»); одномодовое, рекомендация ITU-T G.652.C, D (в маркировке тип «А»); одномодовое, рекомендация ITU-T G.655 (в маркировке тип «Н»); одномодовое, рекомендация ITU-T G.656 (в маркировке тип «С»); многомодовое, с сердцевинной диаметром 50 мкм, рекомендация ITU-T G.651 (в маркировке тип «М»); многомодовое, с сердцевинной диаметром 62,5 мкм (в маркировке тип «В»). Получены спектральные зависимости коэффициента затухания и коэффициента хроматической дисперсии оптических волокон всех указанных выше типов. Проведенные исследования материалов и методов изготовления оптического волокна позволяют значительно упростить



Структура оптоволокна

технологический процесс изготовления оптического волокна исходя из требований точного использования конструктивных решений и наименьшего влияния на параметры волокна внешних воздействующих факторов. На рисунке приведена структура оптического волокна в разрезе.

*С.М. Валеев, асп.; рук. А.И. Данилушкин, д.т.н., ст. преп.
(СамГТУ, г. Самара)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРООБЕЗВОЖИВАНИЯ И ОБЕССОЛИВАНИЯ НЕФТИ В ЭЛЕКТРОДЕГИДРАТОРАХ

В настоящее время на нефтеперерабатывающие заводы поступают нефти, содержащие до 2 % пластовой воды, а следовательно, 3—5 г/л хлористых солей (хлоридов). Для полного удаления солей вся нефть подвергается обессоливанию на специальных электрообессоливающих установках, в состав которых входят электродегидраторы. Принцип действия электродегидраторов основан на воздействии переменного электрического поля на нефтяную эмульсию. С этой целью используют электрическое поле высокой напряженности. Под воздействием электрического поля отдельные капли сталкиваются друг с другом, в результате чего мелкие водяные капли сливаются и укрупняются, что способствует их осаждению в электродегидраторе. Процесс протекает при температурах 140—160°, при напряжении между электродами 27—33 кВ.

При выборе оптимальных параметров технологического режима обессоливания нефти необходимо учитывать влияние каждого из них на эффективность процесса. Основными технологическими параметрами процесса являются: температура, давление, напряженность электрического поля, частота источника питания и др. Одним из важнейших параметров процесса обессоливания является температура. Подогрев нефти позволяет уменьшить ее вязкость, что существенно повышает подвижность капель воды в нефтяной среде и ускоряет их перемещение. Вместе с тем подогрев нефти увеличивает ее электропроводность, что приводит к повышению расхода электроэнергии. Для повышения эффективности работы исследуется зависимость интенсивности процесса обессоливания от температуры нефти, частоты источника питания, напряжения между электродами и межэлектродного расстояния. Предложена структурная модель взаимосвязанных электрических и термомеханических процессов при формировании капель. Структурная модель положена в основу разработки математической модели процесса воздействия электрического поля на частицы воды для исследования влияния параметров процесса на интенсивность обезвоживания. На базе полученных зависимостей ставится и решается задача определения оптимальных параметров источников питания, частоты подводимого напряжения, расстояния между электродами, уровня напряжения, температуры нефти и других факторов.

И.Г. Зарипов, асп.; М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЕНТЫ RIBBON

Одним из главных факторов, влияющих на пропускную способность современных линий связи, является количество оптических волокон (ОВ) для передачи информации. Развитие технологии производства в индустрии кабелей связи предполагает постоянное увеличение ОВ в оптических кабелях (ОК) при сохранении или даже уменьшении внешних габаритов кабеля. Одним из способов увеличения числа волокон является использование ленты Ribbon (рис. 1).



Рис. 1 Лента Ribbon

Если сравнивать микромодуль и Ribbon, то последняя имеет более выгрышную конструкцию [1]. Это связано с минимальным покрытием ОВ акрилатным лаком при изготовлении ленты Ribbon, стенка имеет толщину порядка 15—20 микрон. Если рассматривать микромодуль, то стенка имеет толщину 200—250 микрон. Внешние габариты у микромодуля также существенно выше.

Технология изготовления ОМ с применением ленты Ribbon состоит из двух этапов:

- склеивание пучка ОВ в форме ленты;
- наложение лент друг на друга (пакетирование).

Каждая лента имеет свою маркировку, что позволяет закладывать в один ОМ до 12 лент. В данной работе изготовлены 144 волоконных ОМ с 12 лентами Ribbon, в каждой ленте по 12 ОВ. Если сравнивать традиционные ОМ, то в них максимальное количество ОВ равно 24, по технологии Ribbon число ОВ в ОМ увеличивается в 6 раз.

Проведение климатических и физико-механических испытаний ОК с лентами ОМ показало, что разработанные кабели не уступают по качеству ОК, изготовленным по традиционной технологии.

Литература

1. **Боев М.А., Аунг Хаинг У.** Исследование влияния внешних факторов на оптические кабели, подводящие волокно в дом // Первая миля. 2012. № 1. С. 10—13.

*И.В. Иванова, студ.; рук-ли А.А. Сутченков, к.т.н., доц.;
А.И. Тихонов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНИК ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМУ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

На кафедре ФЭМАЭК разработан и используется электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по электротехническому материаловедению (ЭТМ). Он включает в себя виртуальный лабораторный практикум (<http://etm.mpei.ru>) и электронные учебники (<http://ftemk.mpei.ac.ru/ctlw>). В соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов третьего поколения на основе имеющихся выпущены электронные учебные пособия для направлений подготовки бакалавров НИУ «МЭИ».

Основной принцип, заложенный в основу создания электронных учебников по ЭТМ, состоит в том, что базовый учебник делается избыточным и включает в себя весь необходимый материал для всех направлений подготовки. Далее, для каждого направления конструируется индивидуальный учебник на основе базового.

Учебник представляет собой HTML-страницы, на которых размещаются текстовый, графический материал и flash-ролики, анимирующие процессы и явления, протекающие в электротехнических материалах. При разработке учебника использован опыт учебников и учебных пособий [1–3].

Учебник имеет удобную систему навигации по разделам и подразделам. Каждая из глав заканчивается контрольными вопросами для закрепления прочитанного материала.

Для публикации новых версий учебника потребовалось заново переработать имеющийся материал, дополнить большинство разделов. Текст учебника заново сверстан, преобразован в формат HTML и размещен на сайте кафедры ФЭМАЭК.

Электронный учебник используется студентами для подготовки к защита лабораторных работ, зачетам, экзаменам как при традиционной, так и при дистанционной форме изучения курса.

Литература

1. **Серебряков А.С.** Электротехническое материаловедение. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы. Часть 1: учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2005.
2. **Колесов С.Н.** Материаловедение и технология конструкционных материалов: учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2007.
3. **Серебряков Л.С.** Электротехническое материаловедение. Проводниковые, полупроводниковые и магнитные материалы: учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008.

ПЛАСТИЧНЫЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫЙ МАТЕРИАЛ

В настоящее время в крупных технологических установках используются многоамперные токопроводы, которые выполняются, как правило, с использованием медных или алюминиевых шин. В процессе их эксплуатации в энергоемких технологических установках химической, металлургической промышленности в условиях повышенных температур и агрессивной среды, происходит их старение за счет окисления контактирующих поверхностей, что приводит к повышению сопротивления контактного перехода [1].

Одним из способов снижения потерь электрической энергии является использование электропроводящих смазок, когда между твердометаллическими контактирующими поверхностями помещается промежуточный электропроводный материал, который позволяет значительно увеличить площадь контактирования и тем самым снизить сопротивление контактного перехода [2].

Техническим результатом применения предлагаемого материала сокращение переходного сопротивления в контактном соединении, защита от окисления и разрушения его контактирующих поверхностей, и, как следствие, исключение нелинейных искажений протекаемого тока в контактном соединении. Технический результат достигается тем, что используя эвтектический сплав галлий-индий-олово в него добавляют интерметаллид FeGa_4 и порошок железный распыленный, далее полученная смесь вводится в связующий материал.

Испытания показали, что при нормальной температуре переходные сопротивления болтовых контактов в контактной паре медь-медь и медь-алюминий с использованием пластичного электропроводного материала снижают переходное сопротивление на 27 %, в паре медь-графит на 18 %.

По результатам проведенных экспериментов было выявлено, что используя материал, можно снизить сопротивление силовых контактных соединений до 25—30 %. Таким образом, использование данного материала в межконтактных промежутках болтовых соединений позволяет существенно снизить переходное сопротивление в силовых контактных соединениях.

Литература

1. Снижение потерь и повышение надежности силовых контактных соединений / А.А. Воронин, А.С. Добросотских, И.А. Косорлуков и др. // Электромеханика. 2011. №3.

2. **Воронин А.А., Кулаков П.А., Приходченко В.И.** Интерметаллическое покрытие электрических контактов и токоведущих частей силовых устройств // Тез. докл. V межд. конф. «Материалы и покрытия в экстремальных условиях», Киев. 2008.

Д.А. Кондратьев, студ.; рук. Ю.В. Зайцев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ БИОПОТЕНЦИАЛОВ ЧЕЛОВЕКА

Биоэлектрические потенциалы — электрические потенциалы в тканях и клетках живых организмов, обусловленные способностью клеток и тканей быть источниками электрического тока и выступать в качестве электрических проводников. В экспериментах измеряется разность потенциалов между двумя точками ткани, отражающая ее биоэлектрическую активность, характер метаболических процессов [1].

Рассматривается мембранно-ионная теория возникновения биопотенциалов. Согласно данной теории причина возникновения разности потенциалов — неравномерное распределение ионов по обе стороны клеточной мембраны. Обычно различают потенциалы действия и потенциалы покоя. Потенциал, возникающий благодаря возбуждению ткани, называют «потенциалом действия». Потенциал, возникающий на отдельном участке тела человека (относительно земли), называют статическим биопотенциалом (потенциалом покоя).

Проведены эксперименты по измерению биопотенциалов человека с использованием универсального вольтметра В7-21. По данным измерений рассчитано среднее значение биопотенциала (U_{cp}), дисперсия (D), стандартное отклонение (σ), доверительный интервал значений ($D_{in}U$) и коэффициент вариации ($K_{вар}$). Исследовались потенциалы: ЛЗ — биопотенциал левой руки относительно земли, ПЗ — биопотенциал правой руки относительно земли, К-потенциал — общий потенциал человека — биопотенциал головы относительно земли. Значения биопотенциалов приведены в таблице.

	ЛЗ		К-потенциал		ПЗ	
U_{cp} , мВ	70,7	65,03	76,33	71,73	76,83	75,37
D	32,14	34,67	33,1	14,64	3,35	3,12
σ	5,67	5,89	5,75	3,83	1,83	1,77
$D_{in}U$	2,57	2,67	2,6	1,73	0,83	0,8
$K_{вар}$	8,02	9,05	7,54	5,33	2,38	2,34

Литература

1. Рубин А.Б. Биофизика. Биофизика клеточных процессов. М.: Высшая школа, 1987.

Д.Г. Моисеев, студ.; рук-ли А.Г. Корякин, асс.;
Ю.Т. Ларин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВИБРАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

Несовершенство технологических процессов изготовления оптического волокна (ОВ) и оптического кабеля (ОК) связи, а также влияние окружающей среды в процессе эксплуатации приводят к возникновению и развитию поверхностных микротрещин по длине оптического волокна. Распределение микротрещин по длине ОВ и микротрещин по их размеру носит в большинстве случаев случайный характер. Микротрещины, расположенные по длине ОВ, могут сильно влиять на механические характеристики ОК, снижать механическую прочность, ускорять процессы старения, приводить к дополнительным потерям, снижать коэффициент затухания оптических волокон [1, 2].

Влияния механических нагрузок на ОВ играет важную роль для технологии производства ОК и разработки методов оценки надежности ВОЛС.

В работе рассмотрен алгоритм определения вероятности целостности оптических волокон при воздействии вибрационных нагрузок. Предложен подход к оценке воздействия вибрации на оптическое волокно, размещенное в оптическом модуле гипотетической конструкции оптического кабеля [3]. Приведены расчеты изменения функции кумулятивной опасности обрыва ОВ от вибрации при различных временных параметрах.

Использование полученных зависимостей позволяет осуществить выбор оптимальных режимов изготовления и эксплуатации ОВ и конструкции ОК для обеспечения заданной механической надежности направляющей системы.

Предложен метод оценки интенсивности роста микротрещин в оптическом волокне при воздействии произвольных механических нагрузок. Показано, что незначительное увеличение начального размера микротрещины, возникающей при изготовлении ОВ, приводит к значительному сокращению времени до наступления обрыва.

Литература

1. **Гроднев И.И.** Оптические кабели. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1991.
2. **Дональд Дж. Стерлинг.** Волоконная оптика. Изд. «Лори», 1998.
3. **Петриков В.М.** Долговечность оптических волокон в условиях изменения свойств материала // Завод лаб.: Диагност матер. 2000.

Ю.М. Носова, А.Н. Митин, аспиранты; рук-ли Д.С. Холодный, к.т.н.,
доц.; М.В. Соколова, к.т.н., вед.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ НАПЫЛЕНИЯ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ТИТАНАТА БАРИЯ-СТРОНЦИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ

Стремительная миниатюризация элементов электронной техники привела к необходимости учета влияния размерного эффекта на их электрофизические характеристики. При исследовании планарной структуры необходимо учитывать влияние поверхности тонкой пленки на ее характеристики, зависящие от протекания тока и распределения электрического поля в приповерхностном слое.

Для исследования влияния режимов напыления на параметры поверхности тонкой пленки BST ($x = 0,3$) была изготовлена серия образцов методом ВЧ ионно-плазменным распылением. Время напыления пленок составляло от 15 мин до 2 ч при прочих равных условиях (мощность ВЧ разряда — 400 Вт, состав рабочего газа — $\text{Ar}/\text{O}_2 = 2/1$, давление в рабочей камере — 10^{-4} Торр). В качестве подложки был выбран ситалл, средняя квадратичная шероховатость поверхности которого составляла 39 нм. Измерение толщины пленок и исследование их поверхности проводилось при помощи оптического (лазерного) сканирующего микроскопа Olympus LEXT OLS 4000 при длине волны 405 нм.

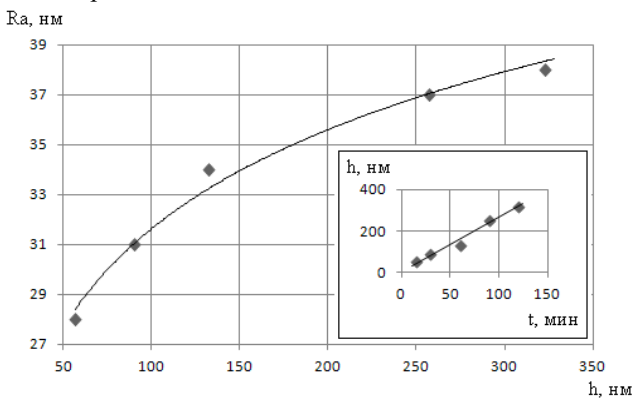


Рис. 1. Зависимость средней квадратичной шероховатости пленки BST от ее толщины. (на вставке приведена зависимость толщины пленки BST от времени ее напыления)

Из результатов измерений, представленных на рис.1, следует, что при увеличении времени напыления пленки BST (а следовательно, при увеличении ее толщины) средняя квадратичная шероховатость ее поверхности также возрастает, но не превышает значения шероховатости подложки.

А.В. Песковский, Мио Мин Тут, студенты; рук. Ю.В. Зайцев,
д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОЛЯЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

В настоящее время для создания необходимых температурных условий в небольших производственных и офисных помещениях все более широко используются низкотемпературные резистивные нагреватели различных

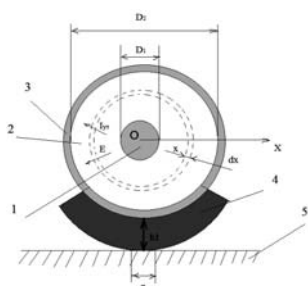


Рис 1. Нагреватель на металлической поверхности несущей конструкции:

1 — внутренний спиральный нагревательный элемент диаметром D_1 ; 2 — изоляционный слой вокруг нагревательного элемента; 3 — стальной корпус с диаметром D_2 и толщиной σ ; 4 — наружное изолирующее покрытие; 5 — металлическое основание несущей конструкции блока нагревателей

конструкций, в том числе и цилиндрической конструкции (см. рисунок). Важнейшим элементом конструкции нагревателя является изоляционный слой между резистивным нагревательным элементом и корпусом нагревателя, обеспечивающий защиту нагревательного элемента от воздействия внешней среды и равномерное распределение температуры по корпусу нагревателя. К основным характеристикам изоляционного слоя нагревателя относятся сопротивление и емкость изоляции, определяющие нагрев и диэлектрические потери в данном элементе конструкции [1].

Для расчета сопротивления изоляции выделим в изоляции участок бесконечно малой толщины dx , имеющий координату x , отсчитываемую от центра нагревателя.

Длину окружности с радиусом x и $x+dx$ можно полагать одинаковой. Тогда сопротивление участка изоляции толщиной dx току утечки $I_{ут}$ равно (1):

$$dRx = \rho 2dx / (2\pi x l). \quad (1)$$

Емкость участка толщиной dx (2):

$$C_{1-3} = 2\pi \epsilon_0 \epsilon_2 l / \ln(D_2/D_1). \quad (2)$$

Изоляционный слой нагревателя может быть выполнен из различных диэлектрических материалов. В настоящее время в НИУ «МЭИ» синтезированы новые диэлектрические материалы на основе фосфатов кальция (ФК), обеспечивающие высокий уровень технических характеристик.

Литература

1. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. СПб.: Лань, 2003.

А.О. Половинкин, Е.А. Маскаев, студенты; рук. А.И. Тихонов,
к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проводящие композиционные материалы (КМ) широко применяются практически во всех областях науки и техники, в связи с чем существенный интерес представляют задачи расчета проводимости КМ для различных типов включений и их концентраций [1, 2]. В работе проводилось статистическое моделирование электропроводности КМ для следующих типов включений: а) равномерное распределение; б) игольчатые включения; в) различные случаи структурирования проводящих цепочек. Была разработана программа на языке Python с использованием библиотек `numpy` и `matplotlib`, генерирующая проводящие включения различных типов в непроводящей матрице, выделяющая проводящие кластеры, рассчитывающая распределение потенциала и проводимость моделируемых образцов, визуализирующая результаты. Моделирование осуществлялось на прямоугольных сетках с числом узлов 10^4 — 10^5 . Для каждого типа и концентрации включений просчитывалось от 200 до 500 случайных реализаций.

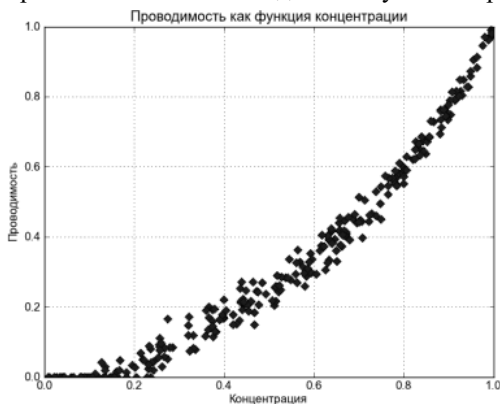


Рис. 1. Концентрационная зависимость проводимости композиционного материала для структурированных проводящих цепочек

На рис. 1 приведены результаты статистического моделирования – концентрационная зависимость проводимости для одного из видов включений.

Литература

1. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей композиционных материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1974.
2. Эфрос А.Л. Физика и геометрия беспорядка. — М.: Наука, 1982.

А.Н. Сафонов, С.В. Шмидт, аспиранты;
рук. В.Л. Матухин, д.ф.-м.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)

ЯМР ^{63}Cu И ^{69}Ga ИССЛЕДОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ $\text{CuGaTe}_2\{\text{Mn}\}$

Соединения с кристаллической структурой халькопирита, легированные Mn, являются перспективными материалами благодаря сравнительно высоким значениям температуры магнитного упорядочения, а также технологичностью их получения в виде качественных монокристаллов.

Соединение CuGaTe_2 — диамагнетик, и его физические свойства были лишь недавно определены на монокристаллических образцах [1].

В данной работе нами были выполнены ядерно-магнитно-резонансные (ЯМР) исследования при температуре $T = 290$ К на спектрометре Bruker Avance-400. Резонансные спектры наблюдались на частотах 106,14 МГц (для ^{63}Cu) и 96 МГц (для ^{69}Ga). Экспериментальные спектры ЯМР ^{63}Cu и ^{69}Ga базового соединения CuGaTe_2 состояли из центрального пика, форма которого определяется анизотропией химического сдвига, и широкого спектра, представляющего собой боковые квадрупольно уширенные переходы.

Сателлиты, обусловленные переходами ($\pm 3/2 - \pm 1/2$) и возникающие за счет квадрупольных взаимодействий первого порядка, оказались слабыми по интенсивности, их пики практически не заметны и распределены в частотном диапазоне 300 кГц. Легирование Mn приводило к значительному снижению интенсивности сигналов ЯМР ^{63}Cu и уширению линий. Спектры ЯМР ^{69}Ga легированных Mn образцов представляют собой одиночную асимметричную линию без какой-либо структуры, что указывает на малое значение константы квадрупольной связи. Обнаруженный нами вид спектров ЯМР указывает на присутствие в исследованных соединениях большого разброса в длинах и углах связи в структурных окружениях вблизи как позиций Cu, так и позиций Ga. Следует отметить, что высокая концентрация собственных дефектов в базовом соединении CuGaTe_2 , связанная с изначальным отклонением от стехиометрии, и наличие кластеров с ферромагнитным характером взаимодействия в легированных образцах $\text{CuGaTe}_2\{\text{Mn}\}$, также могут быть дополнительными факторами, приводящими к значительному уширению резонансных линий, поскольку квадрупольные постоянные весьма чувствительны как к зарядам, так и к магнитным моментам, локализованным на узлах кристаллической решетки.

Полученные результаты важны для более глубокого понимания физических процессов, происходящих в исследованных кристаллах.

Литература

1. Marin G., Perez G.S., Marciano G. et al. // J. Phys. Chem. Solids. 2003.64. 1869.

*И.А. Тарабрин, студ.; рук-ли А.Г. Корякин, асс.; Ю.Т. Ларин, д.т.н.,
доц. (НИУ «МЭИ»)*

СТОЙКОСТЬ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ К РАЗЛИЧНЫМ ТИПАМ ДЕФОРМАЦИИ И ВИБРАЦИИ

Повышенная термическая и механическая стойкость сшитого полиэтилена обусловлена созданием новых молекулярных связей в процессе вулканизации (сшивки) изоляции. Величиной, характеризующей качество сшивания, является плотность пространственной химической сетки.

До настоящего времени продолжается поиск оптимальных кабельных изоляционных материалов, обеспечивающих еще большую надежность изделия.

В работе рассматриваются современные электроизоляционные материалы для оболочек кабельных изделий, такие как полиэтилен высокого давления, полиэтилен низкого давления, полиэтилен низкого давления низкой плотности, полиэтилен с повышенной стойкостью к растрескиванию и кабельные резины.

Для оболочек проведены следующие испытания: на тепловое старение, на тепловую деформацию, под давлением при высокой температуре, наивышением при повышенной температуре, стойкость материалов к вибрационным нагрузкам.

Приводится анализ методов определения степени сшивки полимеров, а именно: химический метод сшивания, термомеханический метод. Детально рассматриваются достоинства и недостатки данных методов в примерах использования на кабельных производствах.

Однако способ сшивки оказывает влияние на вид и количество химических связей, а следовательно, и на плотность образующейся кристаллической решетки. Независимо от применяемых способов сшивки необходимо контролировать степень сшивания как основной результат технологического процесса.

Проведены анализы с помощью дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) и дифференциально-термического анализа (ДТА), материалов оболочек до и после переработки на экструзионных линиях, использующихся при производстве кабельных изделий.

Разработана методика определения стойкости кабелей к вибрационным и сейсмическим воздействиям в диапазоне частот (6—100 Гц.), учитывая различные типы прокладок.

Н.Г. Шалденко, студ.; рук. Ю.В. Зайцев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЭЛЕКТРИКОВ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ

Развитие электротехники и электроники ставит задачу получения диэлектрических материалов с высокой термостойкостью, малыми диэлектрическими потерями, повышенной эксплуатационной надежностью и, в ряде случаев, определенными экологическими характеристиками [1, 2]. Перспективными материалами в указанном направлении являются диэлектрические материалы на основе фосфатов кальция (ФК). Исследования, проведенные в НИУ «МЭИ», показали, что на основе ФК могут быть синтезированы диэлектрические материалы с высоким удельным сопротивлением, малыми диэлектрическими потерями и приемлемыми механическими характеристиками.

Состав диэлектриков на основе ФК описывается формулой $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2-2x}\text{O}_x$ ($x < 1$). Исследовались электрические характеристики образцов, выполненных из плотного ФК. Плотный ФК отличается от пористого повышенной стабильностью характеристик, более высоким удельным сопротивлением и пониженным ТК удельного сопротивления.

На основе полученных температурных зависимостей электропроводности были рассчитаны значения энергии активации носителей заряда для низкотемпературной (300—900 К) и высокотемпературной (900—1200 К) областей. Энергии активации равны 0,168 и 1,034 эВ соответственно. В низкотемпературной области проводимость ФК обусловлена примесями на поверхности и в объеме ФК, тогда как в высокотемпературной области проводимость обусловлена наличием в структуре ФК ионов OH^- .

В соответствии с исследованиями относительная диэлектрическая проницаемость растет экспоненциально с повышением температуры, что обусловлено образованием термических дефектов в структуре материала.

Полученные результаты позволяют говорить о применении ФК в качестве высокотемпературных диэлектрических материалов для электротехнических установок и устройств, а также в качестве чувствительных элементов высокотемпературных датчиков. Диэлектрики на основе ФК используются в качестве изоляторов в электродных нагревателях с номинальной мощностью 0,5—1,5 кВт, разработанных на кафедре ФЭМАЭК НИУ «МЭИ».

Литература

1. **Бородулин В.Н., Филиков В.А.** Диэлектрики. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Electrical** characterization of hydroxyapatite-based bioceramics, University of Bath / J.P. Gittings, C.R. Bowen, A.C.E. Dent et al. 2008.

Д.А. Шульгин, С.В. Шмидт, аспиранты;
рук. В.Л. Матухин, д.ф.-м.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)

ДЕФЕКТНАЯ СТРУКТУРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ CuAlO_2 ПО ДАННЫМ ЯКР

В работе приведены результаты экспериментального исследования дефектов соединений системы Cu_xAlO_2 методом ЯКР Cu. Полупроводник CuAlO_2 относится к группе прозрачных проводящих оксидов, являющихся перспективными соединениями для применения в современных технологиях. Стандартным методом твердофазного синтеза было приготовлено несколько поликристаллических образцов системы Cu_xAlO_2 . Дифрактограммы полученных образцов показывают, что основная фаза является преимущественно ромбоэдрической модификацией (3R). Исследование спектров ЯКР $^{63,65}\text{Cu}$ проводилось на многоимпульсном когерентном спектрометре ЯКР Testmag Redstone в температурном диапазоне $T = 77\text{—}300\text{ К}$.

Полученные спектры ЯКР ^{63}Cu в образцах Cu_xAlO_2 состояли из одной резонансной линии, соответствующей единственной кристаллографической позиции атомов меди в структуре соединения. Полученные в эксперименте формы линии ЯКР ^{63}Cu были представлены в виде суммы двух линий гауссовой формы Cu-1 и Cu-2. Составляющую спектральной линии Cu-1 можно отнести к сравнительно более упорядоченным структурным областям и предположить, что ширина этой линии, которая одинакова для всех исследованных образцов, обусловлена собственными дефектами соединения CuAlO_2 . Такими дефектами могут быть комплексы, включающие антиструктурные дефекты — атом алюминия в позиции меди Al_{Cu} и два межузельных атома кислорода O_i , т.е. $(\text{Al}_{\text{Cu}}\text{O}_i)_2$. С существованием таких дефектных комплексов связывается дырочная проводимость соединения CuAlO_2 [1, 2]. Составляющая спектральной линии Cu-2, по-видимому, связана с резонансными центрами, расположенными в сравнительно более разупорядоченных областях кристаллической структуры. Такие области могут возникнуть благодаря остаточным напряжениям и дефектам упаковки в системе политипов кристалла.

Литература

1. **Исследование** перспективного термоэлектрического соединения CuAlO_2 методом ядерного квадрупольного резонанса Cu / В.Л. Матухин, И.Х. Хабибуллин, Д.А. Шульгин и др. // Физика и техника полупроводников. 2012. Т. 46. Вып. 9.
2. Ingram B.J., Gonzalez G.B., Mason T.O. et al// Chem. Mater. 2004.

СОВРЕМЕННАЯ ПАЗОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Возросшие требования к эксплуатационным параметрам электрических машин, работающих в экстремальных условиях, например в тяговых электродвигателях, потребовали повышения уровня характеристик не только основной изоляции, но и всех компонентов системы изоляции двигателей [1].

Повышение мощности двигателей и скорости их вращения значительно увеличили механические нагрузки на пазовые клинья, закрепляющие обмотки якорей тяговых электродвигателей [2].

Последние десятилетия для тяговых электродвигателей применялась в основном изоляция класса F. Однако при переходе с класса нагревостойкости F на изоляцию класса нагревостойкости H для пропитки потребовались новые компаунды на основе полиэфиримидных или кремнийорганических связующих [3]. Применение этих компаундов в 2—3 раза снижает сцепления изоляции обмотки с железом, что обуславливает повышение требований к прочности на срез пазовых клиньев.

Данная задача решена за счет:

- оптимизации конструкции клина с применением различных наполнителей и элементов плетения;
- доработаны температурные режимы формования, обеспечивающие минимальные значения внутренних механических напряжений во время прохождения пропитанного стеклоровинга в фильере (20—60 с) и отверждения связующего;
- повышения скорости в 2—3 раза изготовления профильных клиньев;
- оптимизации режимов термообработки готовых клиньев, обеспечивающих геометрические параметры клина.

Литература

1. **Проектирование** электрических машин / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев. 2-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1993.
2. **Vimala Shekar**. Effect of fiber architecture on properties of pultruded composites. College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University. 2007.
3. **Огоньков В.Г., Серебрянников С.В.** Электроизоляционные материалы и системы изоляции для электрических машин. Кн. 1. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

*Председатель секции — зав. каф. ЭКАО,
к.т.н., вед. н.сотр. М.Ю. Румянцев
Секретарь секции — к.т.н., доцент А.Н. Соломин*

*А.В. Алейников, студ.; рук-ли В.А. Мартынов, д.т.н., проф.;
А.Н. Голубев, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МНОГОФАЗНЫХ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Одним из вариантов электропривода переменного тока с улучшенными технико-экономическими показателями является его реализация на основе синхронного вентильного двигателя с увеличенным числом фаз ($m > 3$) обмотки статора. Увеличение числа фаз исполнительного двигателя открывает широкие возможности для воздействия на конфигурацию магнитного поля в зазоре машины, и, следовательно, на его характеристики.

Как правило, ротора вентильных двигателей выполняются из высококоэрцитивных магнитов, относительная магнитная проницаемость которых близка к единице. Как показали проведенные исследования, насыщение магнитной цепи статора таких машин обусловлено главным образом постоянными магнитами. При этих допущениях уравнения переменных состояния многофазной обмотки и выражение для электромагнитного момента примут вид

$$\frac{d[i]}{dt} = [L]^{-1} \left\{ [u] - [R][i] - \Omega \frac{d[\psi_0(\alpha)]}{d\alpha} \right\}; \quad M_j = [i]^T \frac{d[\psi_0(\alpha)]}{d\alpha}, \quad (1)$$

где $[u]$, $[R]$ и $[i]$ — матрицы мгновенных значений соответственно напряжений, активных сопротивлений и токов фаз; $[\psi_0(\alpha)]$ — матрица потокосцеплений фаз, обусловленных магнитами ротора; $[L]$ — матрица

само- и взаимоиндуктивностей ветвей многофазной обмотки; Ω — угловая скорость ротора; α — угол поворота ротора относительно статора.

Кривые $[\psi_0(\alpha)]$ определяются при различных α предварительно на основе расчета магнитного поля в активной зоне машины численными методами и аппроксимируются сплайнами, что позволяет легко определить величину электромагнитного момента при известном угле α .

Предлагаемая модель позволяет с небольшими затратами времени ЭВМ рассчитывать динамические процессы многофазных вентильных двигателей непосредственно в фазных координатах с учетом зубчатости статора, дискретной структуры многофазной обмотки и насыщения магнитной цепи. Ее использование позволит создавать эффективные системы управления многофазными синхронными вентильными электроприводами в режиме реального времени.

*В.Е. Вавилов, М.М. Зюков, М.В. Охотников, аспиранты,
А.М. Якупов студ.; рук. И.Х. Хайруллин, д.т.н., проф. (УГАТУ, г. Уфа)*

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА НА СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНОГО МАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА

Быстроходные магнитоэлектрические машины (далее БММ) широко применяются в автономных электротехнических объектах [1]. Подшипники БММ работают при высоких частотах вращения (40 000—100 000 об/мин). При этом, чем выше частота вращения, тем труднее обеспечить надежную эксплуатацию подшипников и минимальные потери на трение в них. Для минимизации потерь на трение, повышения надежности и ресурса БММ применяются гибридные магнитные подшипники (ГМП). Основной характеристикой ГМП являются силы, создаваемые в воздушном зазоре, которые зависят от величины воздушного зазора.

В работе [2] рекомендуется использовать величину воздушного зазора ГМП в пределах 0,4—1,2 мм, в зависимости от геометрических параметров ГМП. Однако в [3] экспериментальным путем определено, что при увеличении величины зазора силы отталкивания увеличиваются, до определенной величины зазора.

Ввиду противоречивости исследований [2, 3] важно определить влияние величины воздушного зазора на силовые характеристики ГМП.

Поставленная задача решалась путем моделирования ГМП методом конечных элементов. В результате исследований было определено, что величина воздушного зазора имеет оптимальное значение, при котором силовые характеристики максимальны. Причем оптимум величины воздушного зазора определен как для магнитных подшипников с осевой намагниченностью постоянных магнитов, так и с радиальной намагниченностью. Также определено оптимальное значение безразмерного отношения объема воздушного зазора к объему постоянного магнита, которое составило 0,3—0,7.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании магнитных подшипников на постоянных магнитах и гибридных магнитных подшипников.

Литература

1. **Moore M. J.** Micro-turbine generators // Professional Engineering. Printed in the USA, 2002. — 113 с.
2. **Барсуков В.Н.** Расчет специальных электрических машин и магнитных подшипников: учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. — Л.: ЛВИКА им. А. Ф. Можайского, 1967. — 152 с.
3. **Шаров В.С.** Особенности расчета магнитного подвеса роторов высокоскоростных электродвигателей. — М.: МЭИ, 1982. — 84 с.

К.А. Воронцов, асп.; рук. Г.С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРУЕМОГО КОНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

При глубокой модернизации выпускаемого ОАО «ГОКБ «Прожектор» трехфазного инвертора напряжения (ТИН), описанного в [1], основным направлением модернизации является кардинальное улучшение массогабаритных показателей за счет трансформации напряжения на промежуточной высокой частоте порядка 30 кГц [2].

В докладе рассмотрен конвертор, реализующий высокочастотное преобразование. Он включает в себя три основных силовых звена: высокочастотный двухтактный инвертор с согласующим трансформатором, выпрямитель и сглаживающий фильтр. Инвертор выполнен по нулевой схеме и реализует двухтактный режим работы. Недостатком нулевой схемы является необходимость использования средств борьбы с импульсными перенапряжениями на транзисторах в моменты их запираания, обусловленными наличием индуктивностей рассеяния первичных обмоток трансформатора. Традиционным средством борьбы с перенапряжениями является использование RCD-цепочек (снабберов), которые подключают параллельно транзисторам. Однако данные цепочки заметно увеличивают общие коммутационные потери [3].

Предлагаемый вариант реализации конвертора, благодаря новой структуре устройства ограничения перенапряжений на силовых транзисторах позволяет с высокой эффективностью рекуперировать только энергию индуктивностей рассеяния первичных обмоток.

В рамках проекта модернизации автором на основе имитационного компьютерного моделирования проведено исследование процессов в конверторе с новой структурой и на его основе даны рекомендации по его параметрической оптимизации.

Литература

1. **Трехфазный** инвертор для системы резервного электропитания / В.В. Михеев, Г.С. Мыцык, Г.В. Анцкайтис и др. // Практическая силовая электроника. 2005. № 17.

2. **Воронцов К.А., Мыцык Г.С.** Направления модернизации системы резервного электропитания переменного тока высокоответственного потребителя // Радиотехника, электротехника и энергетика: Восемнадцатая междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 4 т. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. Т. 2.

3. **Вариантные** исследования эффективности средств борьбы с индуктивностями рассеяния обмоток трансформатора в инверторе по нулевой схеме / В.В. Яковлев, К.А. Воронцов, А.А. Мирошниченко, Г.С. Мыцык // Радиотехника, электротехника и энергетика: Семнадцатая междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3 т. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. Т 2.

Н.Р. Должиков, студ.; рук. В.Г. Еременко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

УСТРОЙСТВО ПО БОРЬБЕ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ ПРОВОДОВ ЛЭП

В Российской Федерации актуальна проблема передачи электроэнергии на большие расстояния. Одним из наиболее распространенных способов передачи энергии является использование воздушных линий электропередач (ЛЭП). Во многих регионах России климатические условия служат причиной образования наледи на проводах ЛЭП. В НЦ «Износостойкость» (НИУ «МЭИ»), в рамках выполнения государственного контракта проводится НИР по разработке технологий предотвращения обледенения оборудования ЛЭП на основе комплексного сочетания электромеханического воздействия и модификаций поверхностей. Одним из наиболее перспективных устройств, осуществляющих механическое воздействие на провод, является устройство, реализующее динамическое скручивание.

Устройство питается непосредственно от самого провода, преобразуя электроэнергию с помощью специализированного трансформатора. При этом в течение 600 с происходит накопление энергии в батарее последовательно включенных ионисторов с максимальной энергией заряда более 1 кДж. Каждый ионистор снабжен электронной цепью, предотвращающей перезаряд и обеспечивающей равное напряжение заряда каждого ионистора. В течение 10 с устройство расходует накопленную энергию на скручивание провода. Устройство управляется с помощью микроконтроллерной системы управления. При соответствии состояния окружающей среды условиям льдообразования, отслеживаемого с помощью датчиков температуры и влажности, устройство включается в работу. Механическое воздействие на провод производится электромеханическим преобразователем на базе двигателя постоянного тока, осуществляющего чередующееся по направлению скручивание провода через редуктор.

В процессе выполнения НИР автором разработана схема реверсивного ШИМ-регулятора, с использованием специализированной микросхемы Allegro A3941 и MOSFET-транзисторов со сверхнизким сопротивлением канала сток-исток (≈ 1 мОм), обеспечивающая управление двигателем постоянного тока. Измерение тока в цепи двигателя осуществляется с помощью линейного датчика тока на эффекте Холла Allegro ACS712.

Внедрение данного устройства позволит предотвращать обрыв проводов ЛЭП из-за льдообразования, что приведет к снижению затрат на обслуживание и ремонт ЛЭП.

Р.И. Журавлев, асп.; рук. В.Г. Еременко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ КАРБИНОВОЙ ПЛЕНКИ НА ПАРАМЕТРЫ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Одним из важных вопросов проектирования новых или модернизации существующих типов ФЭП — расширение работы преобразователей на краях спектра солнечного излучения (ИК и УФ-диапазоны).

В рамках НИР «Интеграция-2», проводимой ОАО «ВПК «НПО машиностроения», проведены исследования с кремниевыми ФЭП.

Исследования показали возможность создания ФЭП с покрытием на основе углеродных наноматериалов. Цель исследований — экспериментальное подтверждение ожидаемых эффектов применения карбина для создания новых типов ФЭП.

Карбин — пленочный двумерно-упорядоченный линейно-цепочечный углерод (ДУЛЦУ) [1], полученный методом импульсно-дугового осаждения. Структуру пленки ЛЦУ можно легировать, при этом появляется одномерная полупроводниковая или металлическая зависимость проводимости от температуры.

Выбор карбина в качестве покрытия кремниевого ФЭП обусловлен эффектом сильного вторично-эмиссионного усиления пучка электронов при его прохождении через пленку ДУЛЦУ вдоль цепочек.

Экспериментально доказано, что наилучшие результаты получены при использовании карбина, нанесенного на кремний, в газовой среде азота или водорода.

Установлено, что при работе кремниевого ФЭП с нанесенным легированным карбином поглощается значительно больше лучистой энергии в расширенном диапазоне (ИК- и УФ-диапазоны) спектра излучения.

Введение одного слоя пленки легированного карбина приводит к увеличению тока ФЭП с 257 до 575 мА. Данные получены при различной освещенности (естественной и искусственной), при одинаковой излучаемой интенсивности 800 Вт/м², нормальных климатических условиях и атмосферной массе АМ-1.5. Исследованиями была подтверждена высокая устойчивость ФЭП к радиационному излучению.

Результатом исследований в данной области должно стать создание опытного образца интегрального энергетического модуля, основанного на гибридной кремниево-углеродной элементной базе.

Литература

1. Пленки линейно-цепочечного углерода — упорядоченные ансамбли квантовых нитей — материал для нанoeлектроники / В.Г. Бабаев, Н.Д. Новиков, М.Б. Гусева и др. // Нанотехнологии: разработка, применение. М.: Сайнс-Пресс., 2010. №1. С. 53—68.

М.И. Иларионов, асп.; рук. В.Г. Еременко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ БОРТОВОГО БУФЕТНО-КУХОННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА СОВРЕМЕННЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Бортное буфетно-кухонное оборудование (БКО) применяется на различных типах летательных аппаратов (ЛА) и обеспечивает нужды пассажиров и экипажа в готовой пище и напитках. На современные ВС практически повсеместно устанавливается БКО европейского стандарта ATLAS, обеспечивающего максимальную взаимозаменяемость компонентов, легкость и простоту наземного техобслуживания и эргономичность использования на борту. На отечественные ЛА более раннего производства устанавливаются изготовленное по специальным техническим заданиям БКО отечественной разработки. Данные изделия имеют габаритные и установочные размеры, определенные задачами потребителя, и не отвечают стандарту ATLAS. В связи с этим проанализированы технические характеристики импортных образцов БКО и созданы экспериментальные агрегаты, отвечающие европейским стандартам, для проведения сравнительных испытаний с импортными аналогами. За прототипы импортозамещающих образцов выбраны изделия, устанавливаемые на борту современного отечественного самолета SSJ. Ими являются кофеварка и конвекционная печь производства фирмы В/Е Aerospace. Для улучшения технических характеристик и создания конкурентоспособного БКО в импортозамещающих агрегатах применена технология плоских электронагревательных элементов (ПЛЭНов) взамен используемых в импортных конструкциях трубчатых электронагревателей (ТЭНов). Анализ и сравнительные испытания показали эффективность применения ПЛЭНов, благодаря использованию которых снизился уровень потребления электроэнергии при сохранении мощности и параметров питания агрегата, снизилась масса изделия и повысилась надежность конструкции.

Разработанные экспериментальные образцы прошли комплекс сравнительных испытаний, в процессе которых проверялись работа изделия в нормальных климатических условиях, устойчивость к воздействию внешних воздействующих факторов и соответствие агрегатов нормам, установленным в авиационной промышленности. Сравнительные испытания показали преимущества импортозамещающих образцов над импортными аналогами, что позволяет использовать их на современных отечественных самолетах, снижая стоимость изделий, текущего ремонта и обслуживания, по сравнению с зарубежными электроагрегатами.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУКТОРНЫХ МАШИН

Успешное решение поставленных при проектировании задач во многом зависит от результатов их проектного расчета, в ходе которого на базе ограниченного количества уравнений формируется исходный расчетно-графический образ проектируемой машины в виде совокупности основных размеров ее магнитной цепи и рабочих характеристик. От степени соответствия результатов проектного расчета требованиям технического задания зависят объем и время выполнения дальнейших оптимизационных расчетов проектируемой машины на ЭВМ [1, 2].

На основе расчетных исследований, результаты которых подтверждены экспериментально, определены общие для индукторных машин закономерности изменения в них функции частоты вращения электромагнитных нагрузок (линейной нагрузки и индукции в зубцах якоря и соотношения между ними) и коэффициента использования магнитного потока, определяющего глубину его модуляции. Подтверждена однозначная зависимость этого коэффициента от отношения линейной нагрузки к индукции в зубцах якоря, дана количественная оценка влияния на его величину коэффициента мощности нагрузки и оценена погрешность определения главных размеров индукторных генераторов при подстановке в формулу Арнольда значения коэффициента использования магнитного потока, определенного без учета его зависимости от электромагнитных нагрузок.

По результатам расчетных исследований дополнены и конкретизированы рекомендации по выбору электромагнитных нагрузок при проектировании индукторных генераторов на минимум массы и на заданную кратность тока короткого замыкания. Значения электромагнитных нагрузок определяются из области их реальных значений, которая ограничена предельно возможным по условию реализации в проектируемом генераторе значения отношения линейной нагрузки к магнитной индукции в зубцах. Для определения этого соотношения приводится зависимость его от параметров, характеризующих геометрию зубцовой зоны генератора.

Литература

1. **Сугробов А.М., Русаков А.М.** Проектирование электрических машин автономных объектов. М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **Вентильные генераторы автономных систем электроснабжения** / Н.М. Рожнов, А.М. Русаков, А.М. Сугробов, П.А. Тыричев. М.: Издательство МЭИ, 1996.

А.Ю. Капустин, студ.; рук. А.В. Бериллов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

В настоящее время в мире наблюдается заметный рост автономных систем электроснабжения (АСЭС) на основе возобновляемых источников энергии. В данном секторе энергетики по объему вырабатываемой электроэнергии лидирующие позиции занимают мини-ГЭС и ветроэнергетические установки. Отличительной особенностью указанных систем генерирования электрической энергии является необходимость решения задачи по обеспечению нормированных значений частоты, формы и уровня вырабатываемого напряжения при переменной скорости первичного источника механической энергии и вала генератора [1]. Проведение научных исследований в целях совершенствования известных и поиска новых технических решений обозначенной задачи является актуальным.

В работе рассматривается АСЭС на базе асинхронной машины с фазным ротором (АМФР), выполняющей роль электрогенератора, вал которой соединен через редуктор с ветроколесом. Возбуждение АМФР реализуется с помощью четырех квадрантного статического преобразователя, алгоритмы управления которым обеспечивают требуемые показатели напряжения на выходе системы генерирования при переменной скорости вращения ветроколеса. Как показывает предварительно проведенный аналитический обзор отечественных и зарубежных информационных источников, рассматриваемая в работе структура в настоящее время считается наиболее перспективной при использовании в качестве генератора машины двойного питания.

Основными вопросами, решаемыми в рамках работы, являются:

- создание имитационной компьютерной модели системы генерирования, позволяющей исследовать статические и динамические процессы в АМФР и статическом преобразователе в различных режимах работы;
- поиск эффективных алгоритмов управления статическим преобразователем в различных режимах работы АСЭС;
- определение значений показателей качества выходного напряжения и энергетических показателей АСЭС в различных режимах работы;
- формирование проектных рекомендаций на основе проведенных исследований.

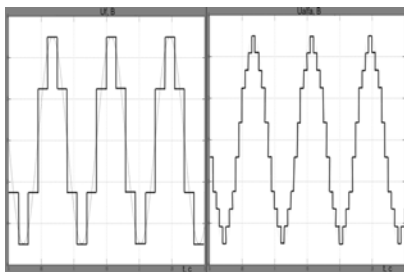
Литература

1. **Автономная** система электроснабжения на базе асинхронного генератора с переменной частотой вращения вала / А.В. Бериллов, С.И. Маслов, Г.С. Мыщук, У. Хлаинг Мин // Электроснабжение. 2011. №2.

В.Д. Карачев, асп.; рук-ли А.Н. Голубев, д.т.н., проф.,
В.А. Мартынов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

М-ФАЗНЫЙ СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

На фоне ужесточения технико-экономических требований, предъявляемых к современным электроприводам (ЭП) переменного тока, задача разработки систем с улучшенными энергетическими показателями сохраняет свою актуальность.



Форма питающего напряжения фазы статора для статического режима (слева); α -составляющая напряжения в 9-фазной системе для статического режима (справа)

Одним из вариантов реализации системы, обладающей улучшенными характеристиками, является многофазный синхронный ЭП [1].

Для разработки адекватной модели многофазного синхронного двигателя (СД), которая включала бы в себя сопряжение временных и пространственных гармоник поля, а также учитывала конфигурацию активных частей машины, были соответственно применены аппарат спектральных

векторов и программный комплекс Elcut. Это позволило смоделировать 9-фазный и эквивалентный ему по ряду номинальных параметров (мощность P_n , фазное напряжение статора U_n , скорость ω_n) 3-фазный СД с постоянными магнитами.

Питание 9-фазной системы напряжением, форма которого представлена на рисунке слева, эквивалентно питанию 3-фазной системы напряжением с формой, приведенной на рисунке справа. Таким образом, при одинаковой форме несинусоидального питающего напряжения, многофазная система демонстрирует прямо пропорциональное увеличение частоты пульсаций электромагнитного момента при снижении их амплитуды по экспоненциальному закону, что соответственно расширяет диапазон регулирования.

Литература

1. Голубев А.Н., Лапин А.А. Многофазный синхронный регулируемый электропривод: науч. изд. / ГОУВПО ИГЭУ. Иваново, 2008. — 156 с.

*С.Г. Карпенков, Д.С. Макеева, А.В. Попов, студенты;
рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПО ПЯТИУРОВНЕВОЙ СХЕМЕ

Многоуровневые преобразователи (МП) все чаще применяются для решения задач энергетики и электропривода. Многоуровневые инверторы (МИ) в составе частотных преобразователей асинхронных электроприводов для высоковольтных применений заменяют традиционные решения по двухуровневой схеме. МИ имеют существенные преимущества благодаря более низкому классу напряжения для используемых транзисторных ключей, меньшему негативному влиянию на изоляцию двигателей. МП также исследуются и применяются в роли статических компенсаторов для задач энергетики. Как правило, МП и МИ включают в полной схеме мощный дорогой многообмоточный трансформатор. В [1] предлагается бестрансформаторный вариант статического компенсатора реактивной мощности (СКРМ) по пятиуровневой схеме «с отсекающими диодами». Для изучения предлагаемой технологии управления СКРМ и рассмотрения возможности использования аналогичного управления для МИ созданы компьютерные модели пятиуровневого преобразователя со всеми принципиальными решениями [1]. Разработанная модель СКРМ в MatLab содержит подмодель сети, входной реактор, схему силовой части преобразователя из 24 ключей с обратными диодами и емкостной делитель напряжения из четырех конденсаторов со схемой выравнивания напряжений. Технология управления многоключевым преобразователем — «трубчатая» пятиуровневая широтно-импульсная модуляция (ШИМ) с фиксированной несущей частотой. Схема выравнивания напряжений на конденсаторах включает две выравнивающие индуктивности и подключенные параллельно каждому конденсатору IGBT-транзисторы со схемой управления. Вариант модели с пятиуровневым инвертором содержит также общий выпрямитель, а сам инвертор подключен к активно-индуктивной нагрузке, а не к сети.

На разработанных моделях проведены эксперименты, показавшие целесообразность и реализуемость всех принятых в [1] решений. Получено, что предлагаемую схему можно успешно использовать для управления пятиуровневым автономным инвертором напряжения для частотного привода со всеми преимуществами бестрансформаторного варианта.

Литература

1. **6.6-kV Transformerless STATCOM Based on a Five-Level Diode-Clamped PWM Converter: System Design and Experimentation of a 200-V 10-kVA Laboratory Model** / Hirofumi Akagi, Hideaki Fujita, Shinsuke Yonetani, and Yosuke Kondo. IEEE Trans. on Industry Applications. 2008. V. 44. No. 2. March/April.

В.С. Коняхин, асп.; рук. Г.С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СХЕМА СКОТТА В НОВЫХ РЕШЕНИЯХ БОРТОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Современные бортовые трехфазные преобразователи электроэнергии построены по принципу «двойного» преобразования. Эти преобразователи, будучи на сегодняшний день наиболее совершенными, наряду с неоспоримыми достоинствами [1] имеют и недостатки, среди которых можно выделить два: большое количество силовых ключей инверторов и «рыхлость» конструкции, которая содержит много панелей управления, масса и габариты которых практически не зависят от мощности преобразователя.

Для снижения этих недостатков в качестве альтернативы была предложена новая структура. Она состоит из двух транзисторных инверторов с промежуточным высокочастотным преобразованием, формирующих переменные напряжения, сдвинутые относительно друг друга на угол $\varphi = 90^\circ$, которые подаются на два автотрансформатора, соединенных по схеме Скотта и образующих трехфазную систему напряжений с силовой нейтралью. Эта структура имеет уже не 12, а 8 силовых ключей и более простую систему управления.

Авиационный стандарт ГОСТ Р 54073—2010 [2] гласит, что однофазные приемники так должны быть распределены по фазам канала электропитания (в данном случае преобразователя), чтобы разность нагрузок наиболее и наименее нагруженных фаз не превышала 15 % номинальной мощности фазы, при этом одна или две фазы могут быть не нагружены вовсе. Достоинство схемы Скотта в том, что в данном устройстве суммарная габаритная мощность автотрансформаторов при максимально допустимом уровне несимметрии не превышает 10 % выходной мощности преобразователя. Исследования показали, что при подключении различной нагрузки только к одной из фаз автотрансформатора Скотта система не теряет своих функциональных свойств, следовательно, у нагрузки появляется искусственная силовая нейтраль сама по себе, без дополнительных проводов и специальных решений, что уменьшает массу преобразователя и упрощает его схемотехнику. Таким образом, появляется возможность создать модификацию существующих современных преобразователей применительно к ЭЭС ЛА с высоким качеством выходного напряжения и улучшенными массогабаритным показателями.

Литература

1. **Коняхин С.Ф., Коняхин В.С.** Преобразовательные структуры трехфазных статических инверторов вторичных систем электроснабжения летательных аппаратов // *Электроника и электрооборудование транспорта*. 2012. №1. С. 13—18.

2. **ГОСТ Р 54073—2010.** Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии.

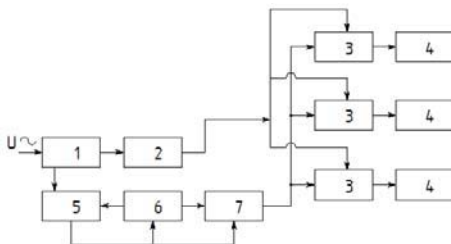
А.Г. Логачёва, асп.; рук. Ш.И. Вафин, д.т.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)

УПРАВЛЕНИЕ МНОГОФАЗНЫМИ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

В последние десятилетия все больше внимания уделяется разработке многофазных асинхронных двигателей. При внедрении в эксплуатацию таких двигателей актуальной задачей становится разработка для них эффективных систем управления

Анализ известных сегодня способов управления электроприводом показывает, что наиболее оптимальным для многофазных двигателей является частотное регулирование. Во многих промышленных процессах необходимо иметь возможность синхронного управления группой электродвигателей. Выполнение данного требования обеспечивает запатентованное устройство управления асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором [1]. Силовой источник питания выполнен нерегулируемым, а регулирование скорости вращения двигателей осуществляется изменением величины управляющих синусоидальных сигналов, поступающих от слаботочного источника питания (см. рисунок), что упрощает и удешевляет конструкцию устройства.

Применение этого устройства возможно в электроприводе как в промышленности, так и на транспорте.



Блочно-функциональная схема частотно-регулируемого электропривода:

1 — блок силового источника питания постоянного тока; 2 — блок силового фильтра постоянного тока; 3 — блок автономного инвертора напряжения; 4 — блок электродвигателя; 5 — блок слаботочного источника питания постоянного тока; 6 — блок формирования управляющих синусоидальных многофазных сигналов переменной частоты; 7 — блок согласования выхода блока 6 с входами блоков 3

Литература

1. Патент на изобретение RU 2441775 С1. Устройство управления асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором / Ш.И. Вафин, А.Г. Логачева Казанский гос. энергет. ун-т. — №2010129164/11; Заявл. 13.07.2010 опубл. 10.02.2012 // БИ 2012. № 4.

Д.В. Метелицын, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГИРОСКОПА

Исследования, результаты которых излагаются в докладе, выполнены при финансовой поддержке РФФИ по гранту 12-08-91167-ГФЕН-а.

Эффективность современных летательных аппаратов и других видов мобильных автономных объектов во многом зависит от систем навигации и управления движением. В этих системах широко применяются и в обозримом будущем будут востребованы [1] гироскопы с гистерезисным электроприводом и механическим носителем кинетического момента, особенно с поплавковым подвесом ротора, так как по сравнению с аналогами: волновыми, лазерными, оптическими гироскопами — они обеспечивают весь диапазон высокой и сверхвысокой точности, и для них также:

- получены эффективные реализации прецизионных гироскопов;
- разработаны и усовершенствованы средства моделирования, расчета и проектирования гистерезисных электроприводов гироскопов;
- предельно снижены или устранены погрешности гироскопов;
- обеспечено средствами управления в гистерезисном электроприводе стабильное минимально возможное потребление электроэнергии;
- что очень важно, отлажены технологии и производственная база.

В докладе приведены результаты исследования систем электропитания и электропривода миниатюрного управляемого гироскопа в режимах:

- прямого и частотного пуска от электронного преобразователя;
- разгона при номинальном напряжении питания и форсированного разгона при повышенном (форсированном) напряжении электропитания;
- асинхронного режима, в том числе при малых уровнях скольжения;
- синхронного режима: при номинальном напряжении без регулирования; при повышенном напряжении во время намагничивания ротора; при номинальном напряжении и регулировании возбуждения.

Исследуемые системы электропитания и электропривода могут быть эффективно использованы для других современных роторных технологий. В частности, проработана коммерческая реализация такого применения в химической, текстильной и смежных с ними отраслях. Возможно как встраивание систем в агрегаты, находящиеся в эксплуатации, без каких-либо изменений конструкций агрегатов, систем их электропитания, так и непосредственное применение систем в агрегатах нового поколения.

Литература

1. **Пешехонов В.Г.** Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация. 2011. № 1 (72). С. 3—16.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОТТЕДЖА С СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕЕЙ

Система электропитания (СЭП) состоит из неориентируемой панели солнечной батареи (СБ) с разделительными диодами, аккумуляторной батареи (АБ) напряжением 12 В для ночного времени и преобразователя постоянного напряжения в переменное (220 В). Рассматриваются три варианта СЭП коттеджа, различающиеся способом регулирования АБ, частотой работы трансформатора напряжения (ТВ), возможностью согласования характеристик СБ и АБ по току и напряжению (рис. 1, 2). Анализируется СЭП с работой СБ в точке максимальной мощности.

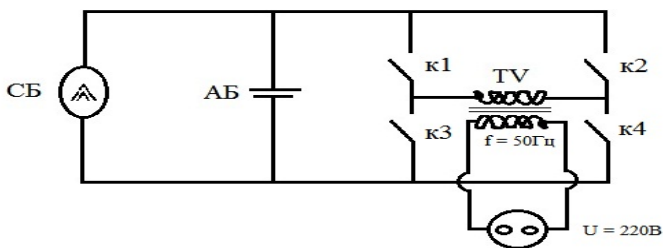


Рис. 1. СЭП с параметрическим регулированием тока АБ

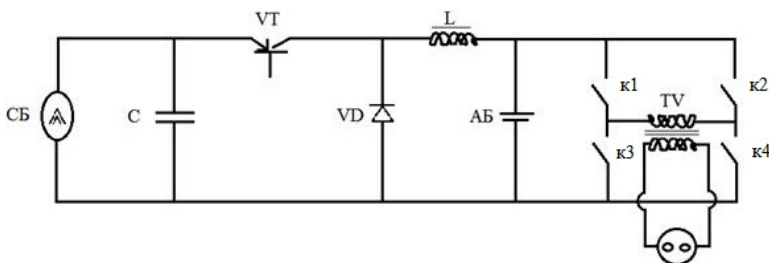


Рис. 2. СЭП с регулятором заряда АБ и с ТВ частотой 50 Гц

Модификация СЭП с высокочастотным ТВ частотой 2 кГц содержит в дополнение к схеме на рис. 2 высоковольтные инвертор и выпрямитель, работающие на частоте 2 кГц с токами в 20 раз меньше, чем основной инвертор на 12 В. Анализируются схемы рис. 1, 2 и рис. 2 с модификацией. В дальнейшем выбор будет сделан по критериям: стоимость и потери энергии СЭП. На данном этапе предпочтительна схема рис. 2 с ТВ, работающим на частоте 50 Гц, несмотря на то что его масса в 10 раз больше, чем масса ТВ на частоте 2 кГц, в связи меньшими ожидаемыми потерями энергии.

Д.Н. Павкин, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА

Исследования, результаты которых излагаются в докладе, выполнены при финансовой поддержке РФФИ по гранту 12-08-91167-ГФЕН-а.

Формовочные машины используются для производства или формования искусственных и синтетических волокон. На следующих производственных циклах из них получаются, в частности, с помощью крутильных машин, искусственные и синтетические нити и широкий ассортимент изделий: от бронжилетов и обтекателей ракет до шинного корда и шелка.

Аналоги — групповые приводы с асинхронными электродвигателями и с механическими передачами, используемые на многих эксплуатируемых машинах. Такая организация привода не оптимальна, создает экологические, эргономические проблемы и, главное, проблему энергосбережения. Новое оборудование зарубежных фирм: Siemens, Saurer-Alma, Barmag и других — частично решает эти проблемы, но отечественные предприятия химической и текстильной промышленности не имеют и в обозримом будущем не будут иметь средств для закупки импортного оборудования.

Цель работы, представляемой в докладе, состоит в проектировании и подготовке к коммерческой реализации пилотных образцов нового электропривода на базе гистерезисных электродвигателей [1] для формовочной машины. Новый электропривод — многодвигательный индивидуальный синхронный — оптимальное техническое решение с точки зрения устранения или сведения к минимуму недостатков указанных вариантов приводов.

Предлагается принципиально новая реализация: замена группового привода с механическими передачами многодвигательным синхронным электроприводом. Каждый механизм формовочной машины вращается индивидуально, конструктивно встроенным в него гистерезисным электродвигателем. Управляются электродвигатели единым на группу электродвигателей и приводимых механизмов электронным преобразователем.

Для формовочных, как и для других технологических машин, современный электропривод, помимо выполнения своей прямой функции, становится важнейшим фактором, определяющим энергосбережение, ресурсосбережение, качество продукции, производительность. Поэтому перспективна коммерческая реализация проектируемого электропривода: он может встраиваться в эксплуатируемые машины без изменения их конструкций, электропитания и применяться в машинах нового поколения.

Литература

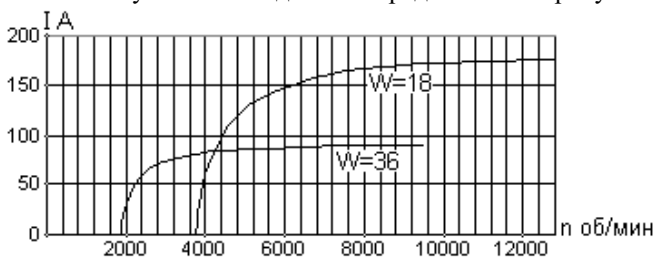
1. **Проектирование** гистерезисных двигателей на ЭВМ / И.Н. Орлов, В.Б. Никаноров, А.П. Селезнев, Г.А. Шмелева. М.: Издательство МЭИ, 1991.

И.Ю. Попов, Е.О. Семенова, студенты;
рук. И.М. Беседин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ В СТРУКТУРЕ ПЕРВИЧНОГО ИСТОЧНИКА ПЭС

Оптимальность достигнутого к настоящему времени баланса между топливом, типом авиадвигателя и тремя видами преобразованной энергии: пневматической, гидравлической и электрической, обеспечивающих в совокупности выполнение самолетом полетного задания, подвергается сомнению в концепции ПЭС (полностью электрифицированного самолета). Концепция базируется на целесообразности увеличения на самолетах доли электрической энергии, выработка которой возлагается на генераторы переменного тока переменной частоты, а управление качеством и распределением электроэнергии предполагается осуществить на основе элементной базы современной преобразовательной техники [1].

Анализ структурных элементов первичного источника ПЭС выполнен применительно к переводу в режим универсального преобразователя генератора ГТ60ПЧ8Б. Результат исследования представлен на рисунке.



Токоскоростные характеристики генератора ГТ60ПЧ8Б

Исследования показывают, что источники, построенные по структуре ПСПЧ, принципиально уступают по массе источникам традиционной (привод постоянных оборотов — синхронный генератор) структуры. При использовании в системах генерирования источников постоянного тока повышенного напряжения эффект следует ожидать только в виде снижения массы распределительной сети.

В настоящее время продолжаются исследования по оптимизации систем, обеспечивающих требуемое качество электроэнергии в источниках ПСПЧ и источниках постоянного тока повышенного напряжения.

Литература

1. **Электрический** самолет: от идеи до реализации / А.В. Левин, И.И. Алексеев, С.А. Харитонов, Л.К. Ковалев. М.: Машиностроение, 2010. — 288 с.

ОБ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫМИ ИНВЕРТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ С ШИМ

Представлены результаты исследования возможности улучшения показателей качества трехфазных инверторов напряжения (ТИН) за счет модификации алгоритма их управления с ШИМ по жесткой (программной) логике [1]. Из [1] известно, что энергоэффективность структурно-алгоритмической организации ТИН определяется законом модуляции ШИМ. Переход от синусоидального закона модуляции к трапецеидальному может быть обеспечен увеличением глубины модуляции с $\mu = 1$ (рис. 1) до $\mu = 1,7$ (рис. 2). Содержание основной гармоники выходного напряжения при этом увеличивается на 20 %, а число переключений ключей ТИН уменьшается примерно в 3 раза.

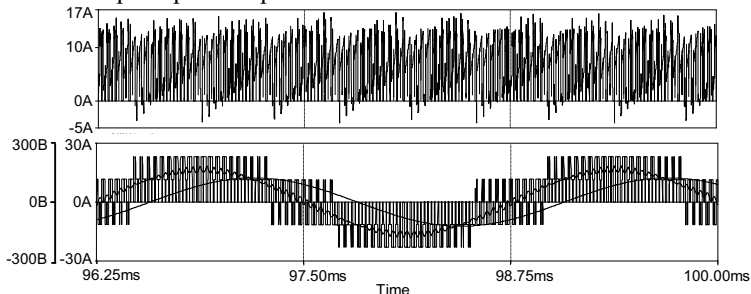


Рис. 1. Осциллограммы выходных напряжения и тока ТИН при $\mu = 1$

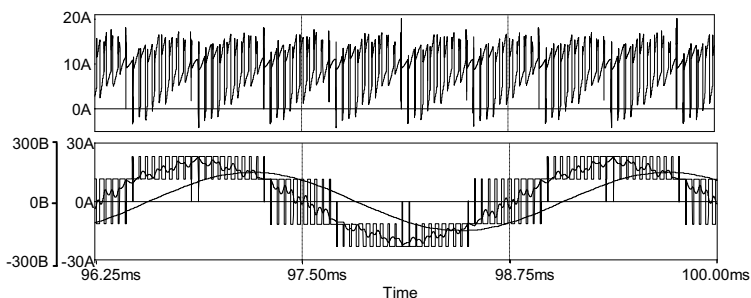


Рис. 2. Осциллограммы выходных напряжения и тока ТИН при $\mu = 1,7$

Литература

1. Мыцык Г.С., Михеев В.В., Чесноков А.В. Синтез трехфазных инверторов с улучшенным качеством выходного напряжения // Электротехника. 1986. № 12. С. 40—50.

Пью Мьинт Тхайн, асп., Хлаинг Мин У, докторант; рук. Г.С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ОДНОГО ВАРИАНТА АУТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТИПА «ПСПЧ»

В авиационной электротехнике по-прежнему является актуальным создание автономных систем электроснабжения (АСЭС) типа «переменная скорость — постоянная частота — ПСПЧ» с улучшенными показателями качества. В работе представлены некоторые результаты исследования одного нового варианта решения этой задачи на основе преобразователя частоты (ПЧ) со звеном постоянного тока, выполненного в виде автотрансформаторно-выпрямительного устройства (АТВУ-18) со сглаживающим фильтром на его выходе и трехфазного инвертора напряжения (ТИН) по мостовой схеме с ШИМ и с выходным фильтром (рис.1).

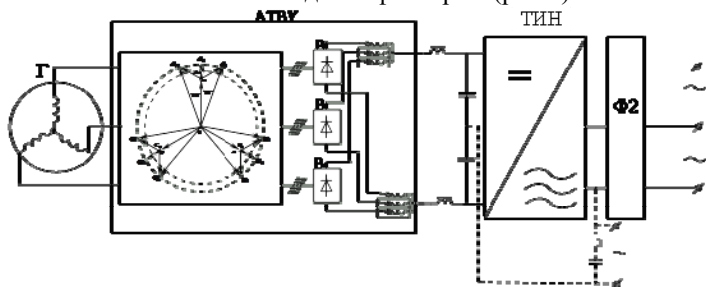


Рис. 1. Структурная схема СЭС типа ПСПЧ

Приводятся полученные на основе компьютерного моделирования результаты (см., например, рис. 2) и рекомендации по проектированию.

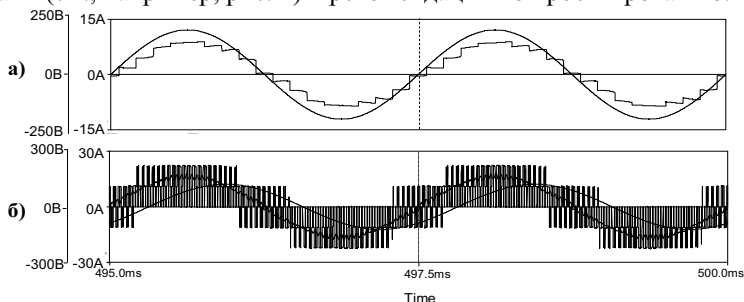


Рис. 2. Осциллограммы процессов в АСЭС:

а — напряжение и ток на выходе генератора; б — напряжения до и после Г-образного LC-фильтра и ток нагрузки АСЭС. Параметры звена ТИН: $U_{d0} = 313,5$ В, $f_T = 24$ кГц, $\mu = 1$, $L = 0,1$ мГн, $C = 1,35$ мкФ, $K_T(U_2) \approx 7\%$; параметры нагрузки: $S_2 = 3000$ ВА, $U_{2\Phi} = 115$ В, $f_2 = 400$ Гц, $Z_2 = 13,225$ Ом, $\cos\varphi = 0,7$

Л.Н. Риянов, асп.; рук. И.Х. Хайруллин, д.т.н. (УГАТУ, г. Уфа)

ТРЕХКООРДИНАТНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭНЕРГИИ

Известные конструкции электрических машин колебательного движения представляют собой электромеханические преобразователи (ЭМП), воспринимающие колебания только в одном направлении, что приводит к потерям полезной механической энергии от колебаний в других направлениях, а следовательно, является причиной низкого КПД. Кроме того, однонаправленность воспринимаемых ЭМП колебаний ограничивает их применение на практике узкоспециальными техническими устройствами. Для устранения указанных недостатков предлагается оригинальное техническое решение — трехкоординатный ЭМП колебательного движения [1] (далее ТКЭП).

Устройство содержит корпус, индукционную систему из подвижной и неподвижной частей. Подвижная часть выполнена в виде двухполюсных постоянных магнитов, закрепленных на упругих стержнях. Неподвижная часть состоит из катушек, размещенных по периметру корпуса. Это позволяет устройству обеспечивать преобразование энергии возмущений внешней среды любого направления (например, вибраций) в электрическую энергию. При этом габариты и масса электрической машины уменьшены.

Таким образом, предложенное техническое решение дает возможность увеличить КПД ЭМП колебательного движения и расширить сферу применения на практике электрических машин данного класса, главной особенностью которых является автономность.

В работе проведен анализ устройства, принципа действия и различных вариантов конструкций магнитной системы ТКЭП. Разработаны и исследованы математические модели, отражающие взаимосвязанную зависимость между электрическими, магнитными и механическими параметрами оригинальной конструкции ТКЭП. В программном комплексе *Ansys* разработана и исследована компьютерная модель, описывающая электромагнитные и электромеханические процессы при установившемся и динамическом режимах работы ТКЭП.

Спроектированное устройство в составе автономных систем электропитания, используя энергию вибраций здания и станков, служит источником питания светодиодных ламп в цехах машиностроительных предприятий.

Литература

1. Пат. на изобретение № 2402142 МПК Н 02 К 35/02. Генератор / Ф.Р. Исмагилов, И.Х. Хайруллин, Р.Р. Саттаров, Л.Н. Риянов // Опубликовано. 20.10.2010.

РАЗВИТИЕ СРЕДСТВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА БАЗЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Исследования, результаты которых излагаются в докладе, выполнены при финансовой поддержке РФФИ по гранту 12-08-91167-ГФЕН-а.

В последние 20 лет практическое применение гистерезисных электроприводов [1] требует электродвигателей, обладающих единичными электромагнитными моментами, в сотни и тысячи раз большими, чем в традиционных отраслях применения, в частности, в гироскопии. В связи с этим актуально развитие средств проектирования таких электроприводов.

Цель работы — развитие средств проектирования гистерезисных электроприводов на основе усовершенствованного энергетического метода, современной компьютерной техники и программного обеспечения.

Аналоги — программы, реализующие универсальные методы расчетов электромагнитных полей: ANSYS, Quick Field, Elcut, Maxwell, COMSOL Multiphysics 3.5a и др. Они не обеспечивают исследования и учет всего спектра нелинейных эффектов, приемлемы лишь для частных случаев.

Основные результаты работы:

1. Средства моделирования процессов в роторах из наноструктурированных, полученных с помощью нанотехнологий материалов и сплавов.
2. Данные по влиянию тепловой и термомагнитной обработок на магнитные и гистерезисные свойства новых материалов электродвигателей.
3. Средства для оптимального проектирования и исследования гистерезисных электромеханических преобразователей и систем на их основе.
4. Средства для расчетных исследований режимов переменной нагрузки, синхронного вала, импульсного управления электроприводами.
5. Методы анализа кратковременного высоковольтного преобразования электрической энергии, параметрического импульсного регулирования.

Средства проектирования как самостоятельный продукт являются объектом коммерциализации, обладающим высокой экономической эффективностью. Кроме того, они — важная составная часть программно-алгоритмического комплекса для исследования жизненного цикла электроприводов с помощью компьютерных и информационных технологий.

Литература

1. **Тарасов В. Н., Останин С. Ю.** Разработка научных основ и технических решений для автоматизации и роботизации роторных и центрифужных технологий // Доклады IX Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Санкт-Петербург, 2004 г.). СПб., 2004. С. 127—131.

В.С. Тарасов, асп.; рук. В.Г. Еременко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУСТОРОННИХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009—2013 годы» (государственный контракт № П608 от 06.08.09).

Развитие космических аппаратов (КА) связано с постоянным повышением требований к космическому аппарату, в частности, с повышением сроков активного существования (САС) КА. Решение задач создания менее энергозатратных, экологически чистых, более производительных космических аппаратов предопределяет необходимость совершенствования характеристик бортовых систем путем поиска оригинальных технических подходов и решений [1].

Одним из путей повышения сроков активного существования КА является применение новых типов фотопреобразователей для солнечных батарей (СБ).

Двусторонние СБ — это тип СБ, преобразующих энергию света с обеих сторон: как с тыльной, так и с лицевой. Такие модули обеспечивают существенное снижение стоимости пикового ватта мощности фотоэлектрической установки.

Отработанная технология и конструкция двусторонних фотопреобразователей соответствуют самым высоким международным требованиям.

Полет экспериментальной СБ, оснащенной аморфным кремнием, на космической станции «Мир» дал обнадеживающие результаты [2].

Для анализа были отобраны три типа фотопреобразователей, обеспечивающих требования:

- кремниевый, изготовления «Квант» (Россия);
- GeAs/Ge, изготовления DSS (Германия);
- аморфный кремний, изготовления «Совлак» (Россия).

Тестирование показало, что двусторонние ФП на 12—15 % эффективнее односторонних, а их деградация не выше 2,5 % в год.

По результатам анализа предполагается изготовление экспериментального КА с двусторонними СБ, производства ОАО ВПК «НПО машиностроения».

Литература

1. **Ефремов Г.А.** НПО Машиностроение: в будущее через перспективные проекты // *Аэрокосмический курьер*. 2000. №3. С. 11—12.
2. **Зернов А.С.** Система электропитания станции «Мир» // *Аэрокосмический курьер*. 2000. №1. С. 56—57.

Хлаинг Мин У, докторант, Ян Найнг Мьинт, асп.;
рук. С.И. Маслов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Проблема создания автономных систем электроснабжения (АСЭС) подвижных (а также малой и средней мощности стационарных) объектов в настоящее время не получила еще полного и однозначного решения в том информационно-методическом объеме, который необходим: а) для обоснованного выбора (или синтеза) структурно-алгоритмического решения, наиболее рационального в каждом конкретном случае применения; б) для последующего системного их проектирования и оптимизации по заданным показателям качества. В качестве первичного источника энергии в АСЭС используются электромеханические преобразователи — электрические машины (АМ) с изменяющейся частотой вращения приводного вала. Первая возможность совершенствования АСЭС заключается в оптимизации для данного диапазона частот вращения полюсности АМ, что позволяет уменьшить ее массу; вторая возможность — в использовании в них активных выпрямителей, обеспечивающих емкостную реакцию якоря в АМ, благодаря чему оказывается возможным снизить ее мощность возбуждения, а в итоге также массу АМ в целом. Третья возможность при использовании в качестве АМ синхронной машины (СМ) заключается в обеспечении бесконтактного ее возбуждения более простыми и эффективными средствами по сравнению с известными. Индуктор СМ выполняется здесь комбинированным — с возбуждением от постоянных магнитов и с управляемым электромагнитным возбуждением. Реализация идеи бесконтактной передачи мощности возбуждения с неподвижной части СМ на регулируемую часть индуктора заключается в использовании так называемого динамического (или вращающегося) трансформатора напряжения (ДТН), конструктивно выполняемого, например, на ферритовом чашечном магнитопроводе. При этом одна часть магнитопровода выполняется неподвижной и с расположенной на ней первичной обмоткой, а вторая вращающаяся часть магнитопровода с расположенной на ней вторичной обмоткой устанавливается на валу. Между частями магнитопровода имеется воздушный зазор. К первичной обмотке ДТН от регулируемого по напряжению высокочастотного инвертора (ВЧИ) подается напряжение возбуждения, а со вторичной обмотки оно снимается и через расположенный на валу (вращающийся) выпрямитель подается на обмотку возбуждения. Питание ВЧИ получает с выхода АМ.

*А.Н. Хуснутдинов, А.М. Вдовин, А.В. Попов, аспиранты;
рук. Р.Г. Идиятуллин, д.т.н. проф. (КГЭУ, г. Казань)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГЕНЕРАТОРОВ ГП-311Б ТЕПЛОВЗОВ

Разработка более совершенных конструкций тепловозных генераторов ГП-311Б позволила увеличить секционную мощность. Вместе с этим в эксплуатации возникли отказы изоляции обмотки якоря генератора в зоне передней лобовой части катушки. Отказ генератора на участке движения локомотива, приводит к тяжелым последствиям и требует больших организационных и материальных затрат [1, 2].

С использованием методов теории вероятности и математической статистики были обработаны данные отказов за несколько лет эксплуатации эклектических машин. Определены основные характеристики потоков отказов. Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение. Это позволило определить вероятность безотказной работы изоляции в любой части якоря.

Разработана методика проведения экспериментальных исследований в условиях поездной работы генератора ГП-311Б. Проведены в условиях реальной эксплуатации генератора измерения температуры частей обмотки якоря. На основании многочисленных экспериментальных исследований были получены параметры температурного поля. Они характеризуют динамику изменения температуры в зависимости от нагрузки участков движения локомотивов.

Применение в конструкции сердечника якоря радиальных вентиляционных каналов позволило значительно повысить теплоотдачу обмотки и сердечника якоря. Вместе с тем, это привело к некоторому изменению распределения воздушных потоков, а следовательно, и поля скоростей. Установлено, что при увеличении оборотов якоря под действием центробежной силы в радиальных каналах скорость воздуха соответственно увеличивается, что создает дополнительное сопротивление воздушному потоку в межполюсном пространстве.

Результаты исследований позволили изменить конструкцию петушков якоря генератора. Математическая модель учитывает возможность исключить условия перегрева при расчете режимных карт движения локомотива на участке.

Литература

1. **Идиятуллин Р.Г.** Надежность тяговых электрических машин. Ташкент: Мехнат, 1987.
2. **Идиятуллин Р.Г., Аухадеев А.Э.** Расчет и обоснование рациональных параметров энергосберегающих режимов подвижного состава // Сб. тр. МКЭЭЭ-2006. Алушта. М.: Издательство МЭИ, 2006.

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ УЛУЧШЕНИЯ МАССОГАБИРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ГЕНЕРАТОРОВ С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА

При создании автономных систем электроснабжения (АСЭС) часто приходится решать задачу преобразования механической энергии вала с переменной частотой вращения в электрическую энергию заданного вида с заданными показателями качества. Первая возможность улучшения массогабаритных показателей АСЭС заключается в их минимизации за счет рационального выбора числа пар полюсов электрической машины (ЭМ) — генерирующего звена системы. Расчеты показывают, что в зависимости от номинального значения частоты вращения вала выигрыш в массе активных материалов ЭМ при оптимизации ее полюсности может достигать 15—25 % (рис. 1). Вторая возможность совершенствования такого типа АСЭС заключается в использовании при их синтезе выпрямителей активного типа (АВ), называемых также четырехквadrантными преобразователями. Силовая часть АВ здесь представляет собой схему трехфазного инвертора с ШИМ, которая при построении соответствующим образом системы управления может реализовать одновременно две функции — функцию малоискажающего трехфазного выпрямителя (МИТВ) и функцию компенсатора реактивной мощности (КРМ). Подрезим МИТВ обеспечивает выполнение функции малоискажающего преобразования активной мощности, а подрезим КРМ — самовозбуждение ЭМ за счет создания емкостного характера реактивной составляющей ее тока. Подмагничивающая реакция якоря позволяет снизить мощность возбуждения ЭМ и в результате этого уменьшить габариты и массу АСЭС в целом. Результаты предварительных исследований показывают, что, например, при емкостном $\cos\varphi = 0,8$ масса ее активных материалов ЭМ по сравнению с индуктивным $\cos\varphi = 0,8$ снижается примерно на 25 % (рис. 2).

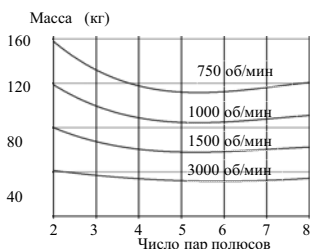


Рис. 1. Зависимости $G = f(p)$

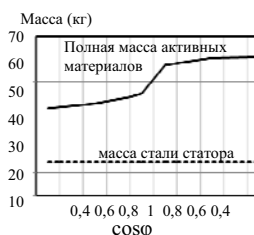


Рис. 2. Зависимость полной массы активных материалов ЭМ и массы стали статора от $\cos\varphi$ при различных режимах

Секция 25

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Председатель секции — д.т.н., профессор П.А. Курбатов

Секретарь секции — магистр Н.В. Хохлова

В.С. Баженов, асп.; рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доц., (ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА ЖИДКИХ СРЕД

Магнитожидкостный герметизатор (МЖГ) работает по принципу гидравлического затвора, в котором магнитная наножидкость (МНЖ) удерживается магнитным полем между сопрягаемыми деталями. Как правило, магнитное поле создаётся постоянными магнитами.

Внедрение МЖГ для герметизации жидких сред сдерживается из-за проблемы вымывания МНЖ при гидродинамическом взаимодействии с жидкой средой.

В работе проведена экспериментальная оценка гидродинамического взаимодействия двух типов МНЖ с минеральным маслом, имеющим вязкость по SAE 15W-30, и по качественному уровню соответствующему классу SE по системе API.

МНЖ имели следующие физические характеристики: МНЖ-1: намагниченность насыщения $M_{so} = 25$ кА/м, пластическая вязкость $\eta = 5,39$ Па·с, плотность $\rho = 2,114$ кг/м³. МНЖ-1 приготовлена на фторорганической основе; МНЖ-2: $M_{so} = 24$ кА/м, $\eta = 0,866$ Па·с, $\rho = 1,253$ кг/м³. МНЖ-2 приготовлена на кремнийорганической основе.

Исследования проводились на специально разработанном для этих целей однозубцовом стенде с диаметром герметизируемого вала $d = 20$ мм, шагом зубца $b = 3$ мм, величиной площадки при основании $t = 0,3$ мм и углом 45° . Зубец имел форму прямоугольной трапеции. Величина максимальной магнитной индукции в рабочем зазоре $\delta = 0,15$ мм, определена расчётным путём в среде ELCUT и составила $B_{max} = 1,25$ Тл. Скорость вращения герметизируемого вала 4 м/с, температура масла 293 К.

Критерием оценки степени вымывания МНЖ являлось изменение критического перепада давлений до и после контакта МНЖ с маслом. Под

критическим перепадом давлений понимают перепад давлений, при котором происходит разгерметизация МЖГ.

Методика испытаний состояла в следующем: после заправки МНЖ в рабочий зазор, вал приводился во вращение и определялся критический перепад давлений P_1 . По истечении 8 часов контакта МНЖ с маслом определялся критический перепад давлений P_2 . Затем фиксировалось изменение перепада давлений. Для каждой МНЖ проводилось 5 опытов. Результаты краткосрочных испытаний показывают, что для МНЖ-1 перепад давлений не изменился, а для МНЖ-2 уменьшился на 13 %. В настоящее время проводятся длительные испытания гидродинамического взаимодействия МНЖ с маслом.

Р.А. Бунин, асп.; рук. Г.С. Белкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛЮЧАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УПРАВЛЯЕМЫХ ВАКУУМНЫХ РАЗРЯДНИКОВ

Повышение отключающей способности управляемых вакуумных разрядников (РВУ) может привести к существенному увеличению области их применения, например позволит создать новые типы токоограничивающих устройств для электроэнергетики [1, 2].

В данной работе проведены экспериментальные исследования отключающей способности как серийно выпускаемых РВУ (РВУ-43, РВУ-47), так и опытных образцов с модифицированной электродной системой (РВУ-43-1, РВУ-43-4).

Испытания проводились в режимах коммутации переменного тока с частотой от 50 до 1000 Гц, как в частотно-пачечном, так и в импульсном режимах. В работе представлены результаты исследований коммутационных характеристик РВУ, осциллограммы токов и напряжений, построены вольт-амперные характеристики и проведено их сравнение.

Показано, что вакуумный РВУ способен многократно коммутировать токи промышленной частоты с амплитудой до десятков килоампер. Проведенные исследования показали, что опытные образцы имеют большую по сравнению с серийными образцами отключающую способность и могут послужить основой для разработки высоковольтных сильноточных РВУ, предназначенных для использования в составе быстродействующего токоограничителя и устройств защиты от сверхтоков и перенапряжений в высоковольтных электросетях.

Литература

1. **Алферов Д.Ф., Иванов В.П., Сидоров В.А.** Управляемые вакуумные разрядники: основные свойства и применение // ЭЛЕКТРО. 2002. №2. С. 31—37.
2. **Новые** системы защиты электротехнического оборудования от перенапряжений и токовых перегрузок / Д.Ф. Алферов, Г.С. Белкин, В.Н. Ивакин и др. // Электротехника. 2006. №9. С. 21—26.

М.М. Валиев, асп.; рук. Ю.К. Розанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ДИАПАЗОНА РЕАКТИВНЫХ ТОКОВ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ

В качестве устройства регулирования активных и реактивных токов взят четырехквadrантный преобразователь с емкостным накопителем [1]. Регулятор генерирует в фазы обмоток статора токи требуемой амплитуды с любым углом фазового сдвига относительно напряжений. В работе ставится задача определения диапазона изменения намагничивающих токов, который позволит разработать алгоритм управления. Система управления отрабатывает заложенный алгоритм, согласно которому регулятор управляет реактивными токами, поддерживая баланс реактивных мощностей между асинхронной машиной и нагрузкой. В системе управления регулятором учтены также соотношения активных и реактивных токов согласно номинальному значению $\cos\varphi$ машины.

Верхний предел диапазона изменения активного тока может быть определен по изоляционной стойкости проводов обмотки статора.

В качестве примера взята асинхронная машина серии 5AM250S8. Магнитопровод асинхронной машины выполняется из шихтованной электро-технической стали марки 2212 [2]. По кривой намагничивания для данной марки стали были сняты точки и занесены в таблицу. По имеющимся данным магнитной индукции и напряженности магнитного поля произведен расчет напряжения холостого хода и намагничивающего тока по формулам:

$$E_{\text{ст}} = 4,44 f_{\text{ЭДС ст}} w_{\text{ст}} B_{\text{м}} F_{\text{ст}}, \quad (1)$$

$$I_{\mu} = H l_{\delta} / w_{\text{ст}}, \quad (2)$$

где $f_{\text{ЭДС ст}}$ — частота ЭДС обмотки статора; $w_{\text{ст}}$ — число витков обмотки статора; $B_{\text{м}}$ — магнитная индукция; $F_{\text{ст}}$ — сечение зазора; l_{δ} — зазор между статором и ротором.

Затем по полученным точкам построен отрезок кривой зависимости напряжения холостого хода от намагничивающего тока.

Литература

1. **Проектирование** электрических машин / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев. М.: Издательский Юрайт, 2011.
2. **Торопцев Н.Д.** Асинхронные генераторы автономных систем. — М.: Знак, 1997. — 288 с.

ОСОБЕННОСТИ КОММУТАЦИИ ТРАНЗИСТОРОВ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

В связи с постоянным развитием базы полупроводниковых приборов все больше и больше электромеханических устройств заменяются на их статические аналоги, создание которых было бы невозможным без использования мощных полупроводниковых ключей. Одной из областей применения полупроводниковых приборов являются испытания автоматических выключателей на предельную отключающую способность для создания ударного тока короткого замыкания.

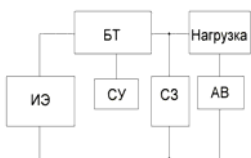


Рис. 1. Структурная схема испытательной установки

Постоянно совершенствующаяся элементная база позволила создать стенд организации испытаний на предельную отключающую способность токами до 6 кА при номинальном напряжении. Структурная схема испытательной установки представлена на рис.1. Установка состоит из источника энергии (ИЭ), блока транзисторов (БТ), микропроцессорной системы управления (СУ); схемы защиты (СЗ); испытываемого автоматического выключателя (АВ), и нагрузки. Принцип действия установки заключается в создании синусоидального тока заданной частоты посредством модуляции при разряде конденсаторной батареи на активно-индуктивную нагрузку.

При испытаниях этой установки произошел выход из строя нескольких транзисторов, вызванный появлением глухого короткого замыкания емкости на землю. Это связано с тем, что при увеличении номинального тока, ухудшались динамические параметры диода, установленного в схеме защиты. Для решения этой проблемы, мощный диод в схеме защиты был заменен сборкой из быстродействующих диодов. Такой подход позволил ограничить время протекания опасных для транзисторов токов, но не позволил полностью решить проблему. Сейчас для решения этой проблемы отрабатывается решение на базе диодно индуктивного снаббера, а также отрабатываются возможности замедления включения транзистора при помощи изменения импульсов управления.

После отладки установки, она может быть применена для сертификации автоматических выключателей по параметрам наибольшей отключающей способности.

ВАКУУМНОЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ВВ/TEL-10-20/1000 У2

Вакуумный выключатель является важной частью электроустановок, в котором вакуум служит средой для гашения электрической дуги. Вакуумный выключатель предназначен для коммутаций электрического тока — номинального и токов короткого замыкания в электроустановках. Вопрос о повышении надежности и быстродействия имеет большое значение в связи с всевозрастающей массой применения высококачественных вакуумных выключателей [1].

Проведена работа по проектированию вакуумного выключателя по аналогии с существующими установками, требующими коммутационные операции. Целью исследований является повышения износостойкость при коммутации номинальных токов и номинальных токов отключения. Число отключений номинальных токов вакуумным выключателем (ВВ) без замены ВДК составляет 10—50 тыс.

Проведен расчет выключателя на увеличения быстродействия коммутации с применением современной конструкции, материала и уточненной методики.

Особенностью вакуумных выключателей является способность быстрого и качественного гашение возникающей при размыкании контактов электрической дуги, благодаря вакууму которая служат идеальной изоляционной средой, так как ионизация молекул газа путем соударения с ними электронов чрезвычайно мала.

Применения новых оригинальных конструкции с использованием надежных в то же время не дорогих материалов для выключателя ВВ/TEL позволяет достичь следующих преимуществ по сравнению с другими коммутационными аппаратами:

- высокий механический и коммутационный ресурс;
- малые габариты и вес;
- небольшое потребление энергии по целям управления;
- отсутствие необходимости ремонта в течение всего срока службы;
- доступная цена.

Таким образом, разработана высококачественная коммутационная аппаратура с высокими технико-экономическими показателями, которая может быть использована в современных электроустановках.

Литература

1. **Евдокунин Г.А., Тилер Г.** Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения (Технические преимущества и эксплуатационные характеристики). — СПб.: Издательство М.П. Сизова, 2000. — 114 с.

А.А. Гудач, студ.; рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ДЛЯ ГАШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В АППАРАТАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Гашение электрической дуги представляет собой одну из актуальных проблем современного электроаппаратостроения. В выключающих аппаратах дуга возникает при отключении электрических цепей и установок. Выделяющаяся в ней энергию должны поглотить и рассеять дугогасительные устройства. При этом стремятся сократить время горения дуги, ограничить выделяющуюся энергию и погасить дугу, так как ее устойчивое горение влечет за собой аварию.

Одним из способов сокращения времени горения электрической дуги является воздействие на нее магнитным полем. О.Б. Броном было рассмотрено влияние магнитного поля постоянных магнитов на гашение дуги постоянного тока [1]. Проведенные опыты подтверждают возможность гашения дуги постоянного тока бегущим магнитным полем. Однако применение такого принципа дугогашения в электрических аппаратах переменного тока до конца не изучено.

Нами был проведен ряд испытаний по выявлению воздействия магнитного поля на гашение дуги в контакторе переменного тока. Для этой цели были применены постоянные магниты, которые по сравнению с системами, где поле создается обмотками, имеют ряд преимуществ:

- нет затрат энергии на создание магнитного поля;
- резко сокращается расход меди на контактор;
- отсутствует подогрев контактов от катушки, как это имеет место в системе с катушкой тока;
- уменьшаются массогабаритные размеры устройства.

При испытаниях было обнаружено положительное влияние постоянных магнитов на время гашения дуги, что позволяет ставить вопрос о их применении в автоматических выключателях и контакторах. Но требуются более детальные исследования для определения взаимодействия напряженности поля постоянного магнита и тока отключения.

Литература

1. **Брон О.Б.** Электрическая дуга в аппаратах управления. — Л.: Энергия, 1967. —263 с.

Д.А. Дрожжин, студ.; рук. Ю.К. Розанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СИММЕТРИРОВАНИЕ ТОКОВ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ТРЕХФАЗНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ С ЕМКОСТНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ

Рост промышленности, товарооборота и пассажиропотока обеспечивают железнодорожный транспорт большим объемом перевозок. Большая тяговая нагрузка оказывает следующие влияния на питающую сеть: низкий коэффициент мощности, большое число высших гармоник. Большинство тяговых подстанций подключены по схеме 110/27,5 кВ [1]. Ввиду динамического изменения однофазной нагрузки, в потребляемом трехфазном токе возникают нулевая и обратная последовательности, которые вызывают несимметрию токов. Все это вызывает потери и дополнительную загрузженность в сети.

Для борьбы с несимметрией токов можно использовать различные методы, описанные в [1], но эти решения обладают своими недостатками и не позволяют повысить коэффициент мощности. Для решения двух задач одновременно можно использовать статический компенсатор реактивной мощности (СТАТКОМ). Данное устройство основано на принципе четырех квадрантного преобразователя с емкостным накопителем [2]. На выходе этого преобразователя, используя метод широтно-импульсной модуляции, можно получить токи обратной и нулевой последовательности. Подключив СТАТКОМ параллельно источнику трехфазного тока, можно избавиться от несимметрии и компенсировать реактивную мощность.

Классические подходы к формированию импульсов ШИМ позволяют использовать лишь половину напряжения на емкостном накопителе. Так же при большой частоте переключения транзисторов преобразователя возникают существенные потери. Современные цифровые устройства позволяют использовать ШИМ на основе пространственного вектора [2]. При таком методе управления ключами максимально эффективно используется частота переключений, что позволяет повысить эффективность использования накопителя на 15 %, уменьшить гармонический состав выходного напряжения и понизить потери до 30 %.

Литература

1. **Марквардт К.Г.** Электроснабжение электрифицированных железных дорог: учебник для вузов. М.: Издательство «Транспорт», 1982.
2. **Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А.** Силовая электроника: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

А.А. Иванова, студ.; рук. П.А. Курбатов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО МЭМС ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) впервые были разработаны к концу 80-х началу 90-х годов прошлого века. Это чрезвычайно миниатюрные устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты.

Перспективы современного приборостроения связаны с разработкой приборов, обладающих малыми массой, габаритами, низкими себестоимостью и энергопотреблением и достаточно высокой надежностью, их достоинствами являются также цифровое управление при расширенных функциональных возможностях и малые потери в замкнутом состоянии.

В работе рассмотрены основные физические процессы, определяющие надежность работы высокочастотных емкостных и резистивных МЭМС-выключателей с электростатическим управлением, а также проблемы, связанные с распределением зарядов в диэлектрике выключателей, эрозией и сопротивлением металлических контактов, температурой нагрева, повышением коммутлируемой мощности, и способы их устранения. Представлены результаты ресурсных испытаний.

У резистивных выключателей наблюдается большой и сложный набор механизмов отказа. При малых токах отказ происходит главным образом из-за точечной эрозии, наклепа, воздействия ионизации и формирования диэлектрика в районе контакта металлов [1]. При средних и высоких значениях тока отказ в основном связан с повышением температуры в области контакта и эрозией контактов.

Показано, что для емкостных выключателей при средней и высокой мощности увеличение температуры минимально. Их отказ, скорее всего, происходит из-за высокой плотности тока в тонкой металлической мембране.

Резистивные и емкостные выключатели быстрее выходят из строя, если не упакованы герметично, из-за влияния влажности и загрязнителей.

По результатам исследований были рассмотрены и созданы модели МЭМС переключателей с использованием компьютерных технологий.

Литература

1. **Gabriel M. Rebeiz.** RF MEMS: Theory, Design, and Technology. Hardcover, 2003.

*И.Н. Кабаев, П.Л. Максимочкин, студенты;
рук. Ю.В. Рахманова, к.т.н., доц. (УГАТУ, г. Уфа)*

КОНТАКТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ

Развитие современной техники невозможно без широкого использования электрических и электронных аппаратов, разработка и усовершенствование которых являются актуальной задачей, определяющей надежность и эффективность электроэнергетических и электротехнологических установок.

Контакторы — это аппараты дистанционного действия, предназначенные для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы.

В докладе представлен расчет электромагнитных контакторов серий КТ6600И (с катушкой управления переменным током), КТП6600И (с катушкой управления постоянным током) — коммутационных устройств открытого исполнения с естественным воздушным охлаждением общего назначения на токи нагрузки от 100 до 500 А и напряжения до 400 В переменного тока частотой 50 Гц [1].

Проведены электромагнитные и тепловые расчеты контакторов, с учетом длительного воздействия номинального тока и большого числа включений и отключений при высокой их частоте. При малой частоте включений номинальный ток главных контактов определяется в основном из условий нагрева при продолжительном или прерывисто-продолжительном режиме. Параметры, полученные в ходе проектирования, совпадают с данными, приведенными в технических требованиях для каждого контактора, что доказывает адекватность примененной методики [2].

Результаты исследования могут использоваться на предприятиях, изготавливающих электромагнитные контакторы.

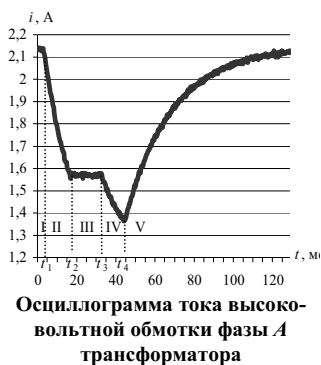
Литература

1. **Рахманова Ю.В., Губайдуллина З.И.** Особенности теплового расчета электромагнитного контактора переменного тока // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: сб. науч. тр. и II Всеросс. науч.-техн. конф.: В 2 т. Т.2 / редкол.: В. А. Шабанов и др. — Уфа: Издательство УГНТУ, 2009. — С. 75—78.
2. **Сахаров П.В.** Проектирование электрических аппаратов. — М.: Энергия, 1971.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ КОНТАКТОВ РПН

Традиционная методика осциллографирования токов контактной системы переключающих устройств требует довольно трудоемкой процедуры слива трансформаторного масла из бака регулятора напряжения под нагрузкой (РПН) и присоединения цепей измерения непосредственно к узловым точкам контактов контактора [1]. Нами предложена проведение этих работ без вскрытия бака РПН и слива из него диэлектрической жидкости с помощью специальной методики с применением многоканального цифрового осциллографа [2]. На рисунке приведена осциллограмма тока одной из фаз высоковольтной обмотки силового трансформатора (СТ) типа ТДН 16000-110/10, где в ее нейтрали установлен РПН типа РС-4.

Предложенный способ предполагает оценить параметры процессов переключения контактов контактора РПН с разбивкой цифровых осциллограмм на пять последовательных во времени интервалов с нарастающей нумерацией. Причем первый интервал соответствует времени до начала работы контактов контактора, второй интервал — времени прохождения тока по токоограничивающему резистору (ТР) первого плеча контактора, третий интервал — времени параллельной работы ТР первого и второго плеч контактора, четвертый интервал — времени после переключения контактов контактора и прохождения тока по ТР второго плеча контактора, граница между первым и вторым интервалами определяется как момент времени начала спада тока. Граница между четвертым и пятым интервалами — как время, соответствующее минимальному значению тока, тогда как границы раздела между вторым и третьим, а также между третьим и четвертым интервалами находятся по скачкообразному изменению постоянной времени свободной составляющей переходного процесса в RL -модели обмотки СТ.



Литература

1. **Якобсон И.Я.** Наладка и эксплуатация переключающих устройств силовых трансформаторов. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 120 с.
2. **Михеев Г.М.** Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования. — М.: Издательский дом «Додэка XXI». — 2010. — 224 с.

Е.А. Коваленко, студ.; рук. В.Н. Шоффа, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Высокочастотные (ВЧ) микроэлектромеханические (МЭМС) переключатели — это устройства, которые используют механическое движение, создающее замыкание или размыкание цепи электрического тока в высокочастотной трансмиссионной линии. МЭМС-переключатели разрабатываются с различными приводными механизмами, такими как электростатический, магнитостатический и т.д. По принципу коммутации электростатические МЭМС делятся на два вида: емкостные и резистивные. Каждый из этих видов — на параллельный и последовательный.

Рассмотрены конструкции различных видов и типов высокочастотных МЭМС-переключателей с электростатическим управлением, их параметры, характеристики, достоинства и недостатки. Проведен перевод и анализ научно-технической литературы на английском языке.

В емкостных переключателях тонкий слой диэлектрика покрывает сверху нижнюю проводящую пластину для изоляции металлической мембраны и нижней проводящей пластины [1]. Для параллельной конфигурации: когда металлическая мембрана в верхнем положении, высокочастотный сигнал может проходить от входа к выходу, такое состояние называется «включенным». Когда мембрана опускается вниз, большая часть высокочастотного сигнала замыкается на землю, и такое состояние называется «выключенным».

Надежность МЭМС-переключателей в значительной степени зависит от исполнения подвижного элемента (металлической мембраны или консоли). Для того чтобы улучшить характеристики высокочастотной коммутации переключателей, разработчики применяют различные конструктивные решения (такие, как отверстия в подвижном элементе для его демпфирования, усложненные пружинные структуры подвески этого элемента с целью увеличения или уменьшения механической постоянной пружины), а также современные технологические процессы.

Литература

1. **Rebeiz G.M.** RF MEMS. Theory, Design and Technology. N. Y.: Wiley — Interscience, 2003.

В.О. Крайнов, асп.; рук. А.Г. Годжелло, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАРЕНИЯ ЗАЩЕЛОК МЕХАНИЗМОВ СИЛЬНОТОЧНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Данная работа является продолжением доклада, сделанного в рамках XVII международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». Темой предшествующей статьи была постановка задачи по исследованию старения механизмов высоковольтных автоматических выключателей низкого и среднего напряжения, работающих в режиме длительного простоя без переключений (так называемом «спящем режиме»). Также в статье была обоснована необходимость физического моделирования шарниров механизма и рассмотрена созданная модель шарнира.

Однако наряду с шарнирами значительное влияние на работоспособность механизмов при работе в «спящем режиме» оказывают и защелки. Узел защелки является очень ответственным, так как именно он обеспечивает ожидание аппаратом управляющего сигнала, а также корректный «ответ» на поступивший сигнал.

По аналогии с шарнирами для исследования старения данного узла была создана его физическая модель. Основные требования к модели остались прежними — геометрия, материалы, технологии производства, допуски и усилия в модели и в исследуемом механизме должны быть одинаковыми. Необходимость использования модели обусловлена легким доступом к измерению контролируемых параметров, кроме того, такая модель имеет массу и габариты в десятки и цену в сотни раз меньше, чем изучаемый автоматический выключатель в сборе, что позволяет проводить серии экспериментов на большом количестве моделей и исследовать влияние вариаций различных параметров на старение узла.

Ускоренное старение модели производится в климатической камере с помощью специально разработанного климатического цикла с варьируемыми параметрами, включающего в себя воздействие повышенной влажности, солевого тумана с низкой концентрацией и повышенной температуры. Параметром, характеризующим работоспособность узла, является усилие срыва защелки. Если оно меньше максимального, которое способен выдать соленоид катушки управления, узел работоспособен. В противном случае при подаче управляющего импульса на соленоид переключения не произойдет.

Результатом исследования должна стать методика, позволяющая оценивать надежность механизма автоматического выключателя, работающего в «спящем режиме», и давать рекомендации по изменениям, необходимым для повышения его надежности в рассматриваемом режиме.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Тема автоматизации инженерного оборудования частного дома, также называемая «умным домом», становится все более и более актуальной в наши дни в связи со стремлением человечества к повышению комфорта и экологичности своего жилища. Умный дом, или интеллектуальный дом, — это система автоматического управления, объединяющая различные инженерные системы в квартире или доме. Под «умным домом» следует понимать систему, которая позволяет осуществлять контроль инженерных комплексов, управление ими и организацию их взаимодействия по заранее выработанным алгоритмам.

Важной особенностью и свойством «умного дома», отличающим его от других способов организации жизненного пространства, является то, что это наиболее прогрессивная концепция взаимодействия человека с жилым пространством, когда человек одной командой задает желаемую обстановку, а уже автоматика, в соответствии с внешними и внутренними условиями, задает и отслеживает режимы работы всех инженерных систем и электроприборов [1].

В работе рассмотрены функциональные схемы и алгоритмы работы основных инженерных систем дома, а также исследована возможность их взаимодействия. Был проведен анализ различного оборудования, применяемого для подобного вида автоматизации, и способов его подключения к единой системе управления.

Помимо этого, был предложен новый подход к созданию системы мониторинга температуры в помещениях. В рамках проекта был изготовлен и успешно испытан опытный образец устройства, позволяющий реализовать предложенную систему. В отличие от традиционных систем мониторинга температуры, разработанная система позволяет собирать информацию с большого количества датчиков температур без особых финансовых затрат. Применение данного подхода позволяет использовать принципиально новые алгоритмы контроля температуры, обрабатывающие информацию большого массива измерений температуры, что позволило бы как повысить равномерность распределения тепла в помещении, так и уменьшить теплопотери.

Литература

1. **Брон О.Б.** Электрическая дуга в аппаратах управления. — Л.: Энергия, 1967. — 263 с.

С.А. Кудрявцев, студ.; рук-ли П.А. Курбатов, д.т.н., проф.;
С.В. Осипкин, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Целью данной работы явилась разработка виброакустического преобразователя на магнитном подвесе для лабораторной установки по выращиванию кристаллов методом направленной кристаллизации. Принцип действия основан на взаимодействии магнитных полей электромагнита и постоянных магнитов [1]. Данный излучатель рассчитан на работу во внутреннем объеме ростковой установки при температурах от 20 до 150 °С и давлении от 10^{-4} Па до 1,5 Па (избыточное давление аргона). Излучатель должен создавать усилие 250 Н при амплитуде перемещений 1,5 мм с частотой в диапазоне от 10 до 40 Гц. Было проведено моделирование в средах EasyMag 3D и Matlab и разработан эскиз излучателя, который изображен на рис. 1 [2]. Из-за ограничений лабораторной установки для поддержания давления в камере с кристаллами необходимо, чтобы ротор со штоком находился внутри длинной трубы, что накладывает некоторые габаритные ограничения и создает риск появления вихревых токов.

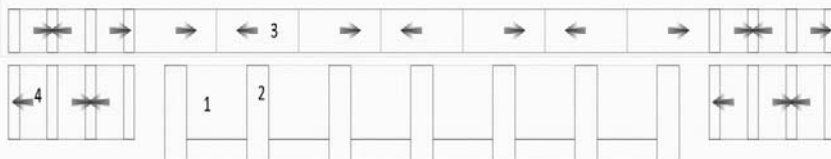


Рис. 1. Модель виброакустического преобразователя с магнитным подвесом в среде EasyMag 3D:

1 — катушка; 2 — магнитопровод; 3 — постоянный магнит; 4 — магнитный подвес

Литература

1. Осипкин С.В. Устройства для возбуждения виброакустических колебаний в металлических конструкциях нефтяной скважины: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2006.

2. Курбатов П.А. Математическое моделирование электромеханических систем электрических аппаратов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

Е.П. Курбатова, студ.; рук. П.А. Курбатов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИСКОВОГО И ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО МАГНИТНЫХ ПОДШИПНИКОВ НА ОСНОВЕ ВТСП ДЛЯ КИНЕТИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Целью работы явились расчетно-теоретические исследования магнитных подшипников с ВТСП-элементами, предназначенных для использования в кинетическом накопителе энергии, применяемом на атомных электростанциях в качестве аварийных источников питания [1].

В качестве исследуемых конструкций рассмотрены: статический магнитный подшипник с ВТСП элементами в форме дисков и статический магнитный подшипник с ВТСП элементами в форме полого цилиндра.

В обеих конструкциях предполагался режим охлаждения сверхпроводника в собранной магнитной системе, т. е. в магнитном поле (режим FC).

Методика и алгоритм расчета магнитных систем с элементами из сверхпроводящих материалов построены на основе общей системы интегральных уравнений для источников электромагнитного поля [2].

При анализе этих устройств проводился расчет усилий, возникающих при смещении ротора в осевом и радиальном направлениях при варьировании основных геометрических параметров магнитной системы. Проведена оптимизация конструкций магнитных подшипников на основе ВТСП для кинетического накопителя энергии.

При сравнении параметров принимались одинаковые массогабаритные показатели. Определяющими силовыми характеристиками для магнитных подшипников приняты осевая и радиальная жесткость в начальном положении.

Результаты расчетных исследований подшипников позволяют сделать вывод о высокой эффективности разрабатываемых устройств и перспективности их промышленного применения.

Литература

1. **Расчет** магнитного подвеса на основе высокотемпературных сверхпроводников для кинетического накопителя энергии / Ю.В. Кулаев, П.А. Курбатов, Е.П. Курбатова, О.Л. Полущенко // *Электротехника*. 2012. №7.

2. **Курбатов П.А., Аринчин С.А.** Численный расчет электромагнитных полей. — М.: Энергоатомиздат, 1984.

СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИЛЬНОТОЧНЫХ РАЗБОРНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Среди разборных контактных соединений наиболее распространенным видом является болтовое соединение. Срок службы таких контактных соединений различен и зависит от условий эксплуатации. В условиях повышенных температур и агрессивной среды, которые характерны для установок химической, металлургической промышленности, происходит старение контактных соединений из-за окисления контактирующих поверхностей, что приводит к увеличению сопротивления контактного перехода и, как следствие, к росту потерь электрической энергии [1].

Для снижения потерь электрической энергии в высоконагруженных разборных контактных соединениях предлагается использовать жидкометаллические и композиционные материалы. Суть предложения заключается в том, что между контактирующими твердометаллическими поверхностями помещается промежуточный электропроводный материал, который позволяет значительно увеличить площадь контактирования и тем самым снизить сопротивление контактного перехода.

В результате исследований, проведенных на модели жидкометаллического контакта, было обнаружено, что при перемешивании интерметаллического порошка FeGa₄ с эвтектическим сплавом галлий-индий-олово образуется электропроводный термостойкий пластичный материал, обладающий устойчивостью гомогенного состояния в широком интервале температур. Испытания показали, что при нормальной температуре переходные сопротивления болтовых соединений с использованием пластичного электропроводного материала близки к переходным сопротивлениям сварных контактов.

Использование пластичного электропроводного материала в межконтактных промежутках болтовых соединений позволяет стабилизировать и существенно снизить переходное сопротивление в контактных парах, повысить надежность и производительность работы технологического оборудования, обеспечить экономию электрической энергии за счет снижения падения напряжения на контактных переходах.

Литература

1. **Повышение** надежности разборных контактных соединений / А.А. Воронин, А.С. Добросотских, П.А. Кулаков и др. // Шестая междунар. конф. «Материалы и покрытия в экстремальных условиях»: Тез. докл. — Киев: Ин-т проблем материаловедения НАН Украины, 2010. — С. 351.

О.Н. Молоканов, асп.; рук. П.А. Курбатов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МАГНИТНЫЙ МУЛЬТИПЛИКАТОР ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В настоящее время существуют несколько основных типов ветроэнергетических установок (ВЭУ) различной топологии, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Для ВЭУ большое значение имеют показатели надежности системы и ее массогабаритные характеристики. Основным элементом ненадежности в ВЭУ является механический мультипликатор. Одно из многообещающих направлений повышения надежности установок — исследования систем, не имеющих в своем составе механического мультипликатора [1].

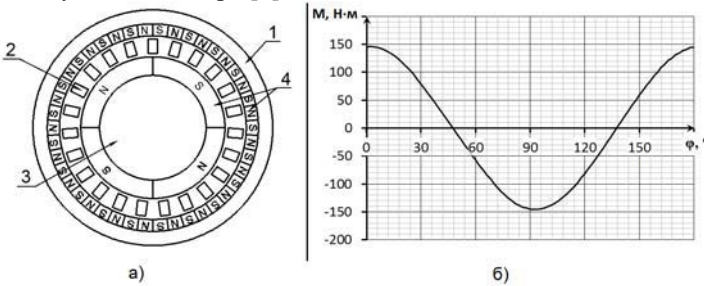


Рис. 1. Схема магнитного мультипликатора (а); зависимость момента, действующего на внешний ротор, от угла поворота внутреннего ротора (б)

Магнитный мультипликатор имеет в своем составе статор (1), модулирующее кольцо из ферромагнитных элементов или внешний тихоходный ротор (2), внутренний быстроходный ротор (3), на внутреннем роторе и статоре радиально расположены постоянные магниты чередующейся полярности (4).

Целью данной работы было исследование статических характеристик, а также лабораторные испытания макетного образца магнитного мультипликатора с передаточным отношением 11,5.

Работа выполнялась в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 годы» по направлению «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области малой распределенной энергетики» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Анализ двухступенчатого магнитного мультипликатора / П.А. Дергачев, В.П. Кирюхин, Ю.В. Кулаев и др. // Электротехника, 2012. № 5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В МАГНИТОЖИДКОСТНОМ ДАТЧИКЕ

В работе проведено исследование влияния формы постоянных магнитов на величину магнитной индукции между обращёнными друг к другу магнитами чувствительного элемента и центрирующими магнитами магнитожидкостного датчика. В первой конструкции [1] используются магниты в форме дисков, во второй [2], форме колец (рис. 1).

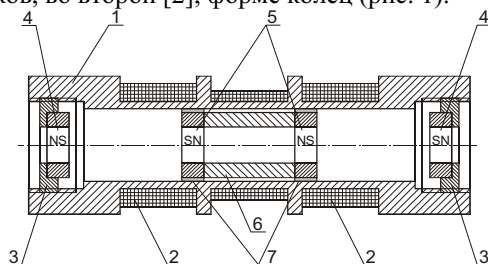


Рис. 1. Конструкция датчика угла наклона с магнитной наножидкостью

Датчик состоит из корпуса 1, двух измерительных обмоток 2, торцевые крышки 3 с отверстиями, и кольцевых постоянных магнитов 4. Подвижный элемент, состоит из двух кольцевых постоянных магнитов 5, магнитопроводной втулки 6 со сквозным отверстием. В цилиндрическом зазоре, между кольцевыми постоянными магнитами 5 и внутренней поверхностью корпуса 1, находится магнитная наножидкость (МНЖ) 7.

Значения магнитной индукции определялись при отношении расстояния между магнитами l к диаметру D в диапазоне от 0,2 до 1,8 с шагом 0,2.

В датчиках использовались магниты КС-37 с наружным диаметром 8—12 мм. Внутреннее отверстие для кольцевых магнитов 3,2—4,8 мм. Марка стали сердечника — Ст.3, длина 40 мм. Намагниченность МНЖ 42 кА/м.

Полученные зависимости магнитной индукции от соотношения l/D позволяют выбрать рациональную форму и размеры магнитов на этапе проектирования.

Литература

1. Морозова Д.Ю. Исследование датчика угла наклона с магнитной наножидкостью // Труды XVIII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Москва – МЭИ. 2012. Т.2. С. 285.

2. Пат. на полезную модель, РФ N 113349, МКИ G01C 9/00. Магнитожидкостное устройство для определения угла наклона / М.С. Сайкин, Д.Ю. Морозова. Приоритет от 18.10.2011, опубл. 10.02.2012, Бюл. N 4.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Существует ряд требований, предъявляемых к интеллектуальным сетям: объединение всех потребителей и поставщиков в информационную сеть, активное участие потребителей в управлении распределением электроэнергии, мониторинг управления в реальном времени [1, 2].

На уровне распределительных электрических сетей низкого напряжения интеллектуальное распределение слабо развито по следующим причинам:

- распределительные сети 0,4 кВ относятся к конечным потребителям, поэтому уровень интеллектуализации зависит от них;
- сложность в создании системы управления и учета электроэнергии;
- слабое распространение магистральных систем распределения и по сравнению с традиционными — радиальными;
- отсутствие типовых решений применения современных аппаратов для создания интеллектуальной сети.

Современные низковольтные автоматические выключатели помимо своих основных функций выполняют еще и коммуникационные. С их помощью можно осуществлять контроль и измерение параметров электрической сети и самих выключателей, и, что важнее всего, взаимодействие с другими аппаратами.

Таким образом, применение современных автоматических выключателей для электрических сетей низкого напряжения позволяет создавать децентрализованные интеллектуальные системы управления электрической энергией. Во многих случаях применение таких систем является наиболее рациональным решением. Реализация моделирования таких систем позволит оценить их надежность и качество на примерах разрабатываемых типовых решений распределительных сетей 0,4 кВ, используемых при строительстве промышленных и гражданских объектов.

Литература

1. **Strategic deployment** document for Europe's electricity networks of the future: пер. на рус. яз. В.А. Грозных и Ю.В. Матюниной.
2. **Energy made smarter**. Schneider Electric, 2011.

РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЩИТА ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПОДСТАНЦИЙ

В настоящее время повсеместно происходит реконструкция электростанций и подстанций, так как технические характеристики и состав оборудования первичных и вторичных цепей на подстанциях сильно изменились. Появление новой техники (микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики и автоматизированных систем управления технологическими процессами) требует пересмотра существующих правил и норм проектирования.

Для питания цепей управления, защиты автоматики и сигнализации, приводов выключателей и аварийного освещения применяют так называемый оперативный постоянный ток [1]. Распределение постоянного тока и связь зарядных агрегатов с аккумуляторной батареей осуществляются через щиты постоянного тока (ЩПТ), в которых размещаются коммутационная аппаратура и контрольно-измерительные приборы.

Целью данной работы являются разработка и модернизация щитов постоянного тока на примере ЩПТ с номинальным током сборных шин 250 А и номинальным напряжением 220 В DC.

Исходными данными к работе служили опросный лист и техническое задание на разработку ЩПТ. Планируется на основе этих данных разработать схемы ЩПТ, такие как: схема силовой части, схема системы контроля напряжения на шинах, схема системы контроля пульсаций на шинах, схема блока АВР, схема системы мониторинга и передачи данных, схема системы сигнализации и схема системы контроля изоляции [2]. Результатом работы должны стать чертеж разработанного ЩПТ и полная конструкторская документация. Также планируется разработка испытательной установки, с помощью которой будут сниматься осциллограммы при горении дуги на шинах батарейного ввода. Целью этого эксперимента является выявление безопасных условий установки и эксплуатации щитов постоянного тока.

Литература

1. **Гусев Ю.П.** Актуальные вопросы оперативного тока на подстанции. М.: Энергоэксперт, 2009.
2. **Каминский Е.А.** Что нужно знать об изоляции цепей оперативного тока. М.: ГЭИ, 1959.

Д.И. Николаев, студ.; рук. Е.Г. Акимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СКЛАДСКОГО ТЕРМИНАЛА

В настоящее время в нашей стране существуют стандартные требования к характеристикам электрической сети. Так, в соответствии с ГОСТ 13109—97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» в Российской Федерации должны соблюдаться определенные параметры электропитания. К сожалению, в настоящее время установленные нормы соблюдаются далеко не всегда.

Низкое качество параметров электрической сети ведет к прямым и очень серьезным последствиям [1]:

- перегреву нулевых рабочих проводников кабельных линий;
- ошибкам измерительных трансформаторов тока;
- дополнительным потерям в силовых трансформаторах;
- ложным срабатываниям аппаратов защиты;
- ускоренное старение изоляции проводов и кабелей.

Однако какие бы ГОСТы и регулирующие акты ни издавались, проблема эта существует и будет существовать всегда. На сегодняшний день комплексы оборудования позволяют минимизировать человеческий труд и сократить связанные с ним экономические расходы. Кроме того, благодаря диспетчеризации и системе автоматизации инженерных зданий снижен риск возникновения аварийной ситуации.

Цель данной работы — разработка системы электроснабжения и диспетчеризационного пункта федеративного распределительного центра «Спортмастер», основными потребителями электроэнергии которого являются электроприемники систем вентиляции, автоматические системы пожаротушения, освещения и т.д.

Исходными данными к работе служат опросный лист и техническое задание. Планируется, основываясь на этих данных, разработать схемы главных электрических цепей, вторичных схем автоматики, логику автоматического резервирования и онлайн-мониторинг основных параметров электроэнергии в узловых точках системы, с помощью анализаторов качества электроэнергии. Результатом работы будет полная конструкторская документация всего проекта.

Литература

1. **Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л.** Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. М., 2000.

М.В. Охотников, В.Е. Вавилов, аспиранты;
рук. Ф.Р. Исмагилов д.т.н., проф. (УГАТУ, г. Уфа)

К ВОПРОСУ УВЕЛИЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТА КЛАПАННОГО ТИПА

Электромагниты клапанного типа (далее ЭМК) широко применяются в различных технических устройствах и системах автоматики современной техники [1]. К таким устройствам относятся электромагнитные реле, контакторы, вибропреобразователи и др. Их можно характеризовать рядом достоинств, таких, как устойчивость к кратковременным перегрузкам по току и напряжению, высокая цикличность работы и др. В системах автоматики аппараты, использующие ЭМК, выполняют самые разнообразные функции, применяются в качестве управляющих и исполнительных элементов, преобразуют сигналы электрической природы (напряжение или ток) в механическую работу (перемещение якоря).

Основными характеристиками ЭМК являются: тяговая и механическая характеристики электромагнита ЭМ, а также время срабатывания.

В работе [2] рассматривается возможность улучшения характеристик ЭМК за счет добавления в конструкцию магнитопровода, ферромагнитных шунтов, тем самым добиваясь повышения тяговой характеристики ЭМ на 5—7 % и увеличения скорости срабатывания.

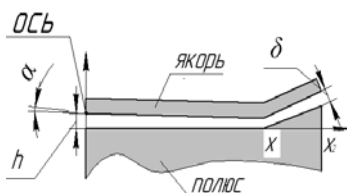


Рис. 1. ЭМК с ломаной
формой якоря и полюса

Возможность улучшения характеристик ЭМ также возможна путем изменения формы воздушного зазора между полюсом ЭМ и якорем, рис. 1. Применение ломаной либо частично скругленной (не показано) формы полюса и якоря позволяет обеспечить регулирование величины воздушного зазора δ ЭМ во время работы.

Поставленная задача анализировалась путем моделирования ЭМК методом конечных элементов. По результатам исследований получено увеличения тяговой характеристики на 13—15 %.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и оптимизации электромагнитов клапанного типа применяемых в качестве привода электромагнитных аппаратов.

Литература

1. **Электрические** и электронные аппараты / под ред. Ю.К. Розанов. 2-е изд., испр. и доп. — М.: Информэлектро, 2001. — 420 с.
2. **Чепелюк А.А.** Экспериментальное исследование влияния формы рабочего зазора на тяговые усилия в электромагните с поперечным движением якоря // Электротехника и электромеханика. 2002. №1. С. 77—80.

ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА МОЩНОСТЬЮ 50 Вт НА БАЗЕ ИМПУЛЬСНОГО ПОНИЖАЮЩЕГО РЕГУЛЯТОРА

Развитие светодиодных технологий и постоянно растущая потребность в энергосбережении открывают новый рынок для светодиодных изделий в освещении [1]. Основной причиной, влияющей на высокую скорость внедрения светодиодного освещения, является весьма существенная экономия потребления энергии. Кроме того, светодиоды обладают увеличенным временем жизни по сравнению с лампами накаливания, более высоким КПД и не требуют особой системы утилизации (экологически безвредны).

Светодиоды — это приборы, управляемые током. Поэтому для правильной и продолжительной работы светодиодных светильников требуется пускорегулирующая аппаратура (ПРА) — специальные изделия, с помощью которых осуществляются запуск и поддержание работы источника света [1]. Такие устройства питания должны иметь характеристику источника тока, а пульсации напряжения на нагрузке должны быть минимизированы.

В работе были представлены основные виды современных ПРА для светодиодов. Для каждого вида были обозначены их достоинства и недостатки. После чего было определено наиболее оптимальное схемотехническое решение для светодиодного уличного светильника мощностью 50 Вт. Был произведен расчет всех элементов выбранного пускорегулирующего устройства, и на основании этих расчетов был собран и испытан макетный образец. Для сборки макетного образца использовалась наиболее распространенная современная элементная база. Результаты исследований макетного образца показали, что расчет элементов был сделан правильно, и разработанное пускорегулирующее устройство отвечает всем требованиям, предъявляемым к светодиодным светильникам. Поэтому результаты данной работы могут быть использованы при производстве пускорегулирующих устройств для уличных светильников мощностью 50 Вт.

Литература

1. **Клык М.Е.** Устройства питания светодиодов при включении в сеть переменного тока // Светотехника. 2010. № 6. С. 23 — 28.

А.В. Танаев, А.Т. Климов, М.С. Живаев, студенты;
рук. В.М. Мякишев, к.т.н., доц. (СамГТУ, г. Самара)

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ДУГИ

Исследование сварочной дуги в целях повышения устойчивости и надежности повторного зажигания требует построения математической модели, учитывающей электрические и тепловые процессы [1, 2]. Учет параметров электрической цепи и факторов, влияющих на тепловые процессы в дуге, приводит к системе нелинейных дифференциальных уравнений, решение которой связано с вычислительными трудностями.

В настоящее время используется ряд математических моделей электрической дуги: в электрометаллургии — модель С.И. Тельного, процессы, протекающие в малоамперной дуге и вблизи перехода тока через нулевое значение, более корректно описываются моделью Майра [3].

В этих моделях важнейшим динамическим параметром дуги является постоянная времени дуги, которая зависит от мощности теплоотвода $P_{от}$ и теплосодержания Q_0 на единицу длины дуги

$$\theta = Q_0 / P_{от}. \quad (1)$$

Одним из возможных способов определения постоянной времени дуги является метод расчета по формуле

$$\theta = t_0 / \sqrt{2}, \quad (2)$$

где t_0 — время от момента перехода тока через нулевое значение до пика зажигания t_3 или гашения дуги t_2 . Это требует осциллографирования процесса. В электрических аппаратах при анализе процессов повторного зажигания постоянная времени дуги определяется гармоническим составом напряжения дуги [1], что позволяет предложить способ вычисления постоянной времени по формуле [2]:

$$\theta = \frac{1}{4\omega} \left(\frac{1}{\chi} - \chi \right), \quad (3)$$

где χ — отношение нечетных гармоник.

При найденных амплитудах первой и третьей гармоник по данным формулам легко подсчитать постоянную времени. Рассмотренная методика защищена авторским свидетельством.

Литература

1. **Залесский А.М.** Электрическая дуга отключения. М.;Л.: Госэнергоиздат, 1963.
2. **Мякишев В.М.** Сварочный трансформатор с насыщающимся участком магнитопровода. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010.
3. **Таев И.С.** Электрическая дуга в аппаратах низкого напряжения. М.;Л.: Энергия, 1965.

Н.В. Хохлова, студ.; рук. Г.С. Белкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ, ЗАНИМАЕМОЙ ДУГОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ ВАКУУМНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАЗРЯДНИКОВ

Одним из решений по ограничению токов КЗ в промышленных сетях является высоковольтный быстродействующий короткозамыкатель на основе управляемых вакуумных разрядниках (РВУ), однако для создания такого устройства необходимо создать методику расчета отключающей способности, для чего требуется определять площадь поверхности, занимаемой дугой на поверхности электродов РВУ при протекании тока.

В качестве исходного материала использовались результаты испытаний РВУ-43 и РВУ-47 на отключающую способность. Отключающая способность разрядников проверялась методом постепенного повышения амплитуды пропускаемого тока, до момента отказа испытуемого образца.

По результатам эксперимента были выполнены расчеты нагрева поверхности анода в течение протекания через РВУ положительных полуволн тока КЗ. При расчетах полагалось, что при отрицательном напряжении ток через камеру не протекает, и анод охлаждается.

При помощи интеграла Дюамеля (1), можно рассчитать температуру нагрева плоской поверхности в произвольный момент времени для произвольного теплового потока $q(t)$, приходящегося на эту поверхность. При этом используя в качестве критической температуры значение температуры, соответствующее упругости паров меди, были получены расчетные значения площади, занимаемой дугой на электроде.

$$T(\tau) = T_0 + \int_0^{\tau} \frac{2\sqrt{\tau-t}}{\sqrt{\pi}\sqrt{\lambda c \gamma}} dq(t) dt, \quad (1)$$

где T_0 — начальная температура поверхности; τ — интересующий нас момент времени; λ , c , γ — теплофизические константы материала (теплопроводность, теплоемкость, плотность) [1].

Полученные результаты расчетов могут стать основой для создания методики расчета отключающей способности РВУ.

Литература

1. **Алферов Д.Ф.** Физико-технические основы создания вакуумных электрических аппаратов для коммутации импульсных и постоянных токов. М.: «11-й ФОРМАТ», 2010.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ НЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Распространение нелинейных потребителей электроэнергии отрицательным образом сказывается на качестве электроэнергии (КЭЭ). Для улучшения качества электроэнергии применяются компенсаторы реактивной мощности (РМ) и фильтры высших гармоник (ВГ). В связи с освоением промышленностью полностью управляемых полупроводниковых приборов большой мощности применение четырехквadrантных преобразователей для улучшения КЭЭ является перспективным [1].

В одномодульном устройстве компенсации неактивной мощности преобразователь обеспечивает компенсацию РМ и фильтрацию ВГ, в двухмодульном преобразователь Пр1 компенсирует РМ основной гармоники, а Пр2 фильтрует ВГ. Преимуществом одномодульной схемы является меньшее число элементов, недостатком — сложность алгоритма управления и определения параметров выходного фильтра. Преимущества двухмодульной схемы — относительно простой алгоритм управления, простота расчета фильтров, меньшие потери, недостаток — большее число элементов.

Рассмотренные преобразователи могут найти широкое применение в системах электроснабжения.

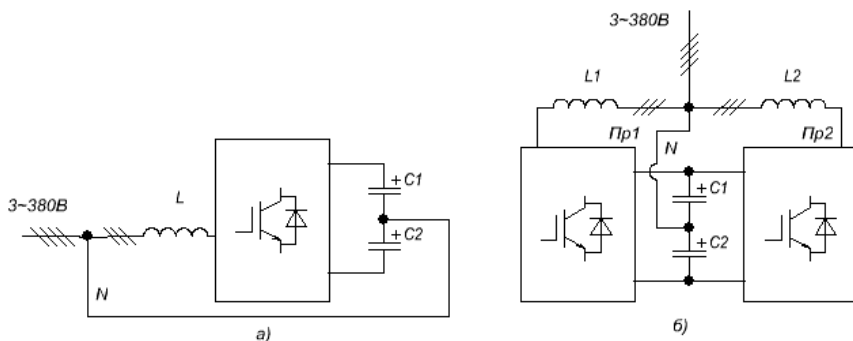


Рис. 1. Структура устройства компенсации неактивной мощности на базе четырехквadrантных преобразователей:

а — одномодульная; *б* — двухмодульная

Литература

1. Розанов Ю.К. Силовая электроника: учеб. для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

Е.Д. Шарапов, студ.; рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОВЕДЕНИЕ ДУГИ В ДУГОГАСИТЕЛЬНОЙ РЕШЕТКЕ В РЕЖИМАХ ПРЕДЕЛЬНЫХ ТОКОВ ОТКЛЮЧЕНИЯ

В связи с большой распространенностью в коммутационных аппаратах низкого напряжения камер с дугогасительными решетками, процессы горения в них дуги представляют значительный практический интерес. На процесс гашения дуги в дугогасительной решетке оказывает влияние большое число факторов самой разнообразной природы. К числу основных следует отнести: термическое состояние опорных точек дуги на катоде и аноде к моменту перехода тока через нуль; электромагнитные процессы, вызывающие взаимодействие столба дуги с металлическими частями электрических аппаратов, такими как пластины дугогасительной решетки, а так же специально установленные магнитопроводы, изменяющие распределение напряженности собственного магнитного поля токоведущего контура тока. Также немаловажны газодинамические процессы, возникающие при появлении и перемещении электрической дуги в дугогасительной камере и при взаимодействии ее с дугогасительной решеткой. Поведение дуги в дугогасительной решетке описано в монографии О.Б. Брона [1]. В этой книге рассматриваются указанные выше процессы, происходящие в различных дугогасительных устройствах электрических аппаратов. Там же впервые высказывается идея использования давления, возникающего в замкнутом объеме камеры при возникновении дуги, для интенсификации процесса ее гашения. Но до настоящего времени, несмотря на активное использование этой идеи различными известными фирмами в конструкциях автоматических выключателей, отсутствует теоретическое обоснование, рассматриваемых в [1] закономерностей.

Целью настоящей работы является изучение и обобщение материалов публикаций по различным процессам, протекающим в дугогасительном устройстве, для получения общей картины состояния вопроса, сформулированного в названии статьи, на настоящий момент и выработка направления дальнейших исследований, связанных с проектированием и совершенствованием коммутационных аппаратов низкого напряжения с лучшими технико-экономическими характеристиками.

Литература

1. **Брон О.Б.** Электрическая дуга в аппаратах управления. М.: Госэнергоиздат, 1954.

Д.О. Шведов, асп.; рук. М.А. Жаворонков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА НА ИЗОЛЯЦИЮ, УСТРОЙСТВО ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ КАК АППАРАТ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗГОРАНИЯ

Устройства защитного отключения обеспечивают эффективную защиту от опасности возгорания, вызванную перекрытием изоляции.

Анализ процесса тепловыделения в случае нагрева изоляции распределенными токами утечки показывает, что при нагреве проводников по всей длине не происходит значительного перегрева изоляции, который может повлечь за собой разрушение изоляции или же ее возгорание. С этой точки зрения интересна тепловая задача, состоящая в определении температур нагрева изоляции локализованными токами при поверхностном разряде, являющемся следствием локализованных токов утечки. Исходные данные для определения температур нагрева изоляции в этом случае (а именно — значения напряжения и тока, при которых происходит возникновение поверхностного разряда) были получены опытным путем на специально подготовленной для этих целей экспериментальной установке.

Особенностью данной установки является имитация токов утечки, возникающих при нарушении целостности изоляции. Это достигается следующим образом: фаза сети подключается к соответствующему полюсу АВДТ, в то время как нейтральный полюс АВДТ остается свободным. Таким образом, при протекании тока через АВДТ будет наблюдаться отсутствие баланса токов между входящими в него токоведущими проводниками, вследствие чего аппарат будет срабатывать при достижении значения током цепи уровня, соответствующего значению номинального дифференциального отключающего тока аппарата.

Для протекания тока в цепи необходимо создать проводящий слой между электродами установки. В качестве материала для создания такого слоя в данных экспериментах использовался графит. Таким образом, при подаче напряжения на электроды между ними будет протекать ток, моделирующий ток поверхностного разряда, возникающего в реальных условиях вследствие наличия токов утечки. Задача опыта при этом — зафиксировать значения тока и разности потенциалов между электродами. На основе этих параметров поверхностного разряда и была произведена оценка его тепловой мощности. Дальнейшая работа будет направлена на поиск расчетной модели, дающей наиболее адекватную оценку температуры изоляции, достигаемой при поверхностном разряде, а также на проведение серии аналогичных опытов с использованием различных изоляционных материалов.

И.М. Шумеев, студ.; рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНО-ДЕМОНСТРАЦИОННОГО СТЕНДА АВР 3-В-1 С УПРАВЛЕНИЕМ ПО ПРОТОКОЛУ MODBUS

Одной из основных задач инженерного образования является развитие у студентов навыков и умений работы с современным техническим оборудованием, соответствующим изучаемой специальности. Эти навыки и умения отрабатываются в ходе лабораторных занятий. Использование лабораторных стендов с установленными на них аппаратами, широко применяемыми в промышленности, позволяет более наглядно показать изучаемый на лекциях материал и принцип работы электрических аппаратов, что способствует лучшему усвоению материала. При выполнении лабораторных работ на таких стендах студент имеет возможность увидеть процессы, происходящие в электрических аппаратах при воздействии на них внешних факторов и наблюдать их работу в различных режимах.

Проектируемый стенд предназначен для обучения и демонстрации возможностей системы автоматического ввода резерва (АВР) — способа обеспечения резервным электроснабжением нагрузок, подключенных к системе электроснабжения, имеющей не менее двух питающих вводов. Способ направлен на повышение надежности системы электроснабжения и заключается в автоматическом подключении к нагрузкам резервных источников питания в случае потери основного.

Появление нового лабораторно-демонстрационного стенда позволит студентам: изучать логику работы схемы АВР в различных аварийных ситуациях, таких как короткое замыкание, падение и пропадание напряжения; имитировать аварийные ситуации и тестировать работоспособность расцепителей, установленных на автоматических выключателях. Кроме того, в ходе занятий студенты получают навыки ручного и программного регулирования уставки токов и времени срабатывания аппаратов защиты.

Основным отличием данного стенда от аналогичных является полное взаимодействие между аппаратами стенда по протоколу Modbus. Modbus — коммуникационный протокол, основанный на клиент-серверной архитектуре. Он разработан фирмой Modicon для использования в контроллерах с программируемой логикой (PLC) и де-факто стал стандартом в промышленности.

Помимо создания конструкции и силовой части стенда идет разработка алгоритма управления, а также подробного описания принципа действия лабораторно-демонстрационного стенда в целом и алгоритма управления по протоколу Modbus в частности.

*С.В. Щеголятов, студ.; рук-ли П.А. Курбатов, д.т.н., проф.;
Н.И. Пивоварчик, конс. (НИУ «МЭИ»)»*

ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ — РЕЛЕ ИВГ-С

Для автоматического регулирования движения поездов и повышения безопасности необходима непрерывная связь между поездами и путевыми устройствами. Эта связь осуществляется с помощью рельсовых цепей (РЦ), в которых проводниками тока являются рельсовые нити железнодорожного пути [1].

С помощью РЦ выполняются следующие системы автоматики и телемеханики для регулирования и контроля движения поездов: автоматическая блокировка, в которой автоматическая смена сигнальных показаний осуществляется при движении поезда; автоматическая локомотивная сигнализация, диспетчерский контроль движения поездов; электрическая централизация.

Передачиком кодовых импульсов в РЦ с импульсным питанием является транзитное реле ТР, приемником — импульсное путевое реле ИР [1]. В качестве импульсного реле применяются реле ИМШ или ИВГ (и его разновидности) [2, 3].

В целях устранения недостатков реле ИВГ (существование вероятности замыкания всех контактов в один, обязательный подогрев ЖМК при низких температурах, проблемы с утилизацией ртути) ИВГ, разработано опытное реле ИВГ-С с применением сухого геркона МКС-27103 вместо ЖМК типа МКСР-45181.

Главными задачами диссертации являются исследование, оптимизация магнитной системы реле ИВГ-С и проведение его испытаний на работоспособность.

Литература

1. **Казakov А.А.** Автоблокировка, автоматическая локомотивная сигнализация и автостопы. — М.: Транспорт, 1969. — 414 с.
2. **Сороко В.И.** Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник: в 2 кн. Кн. 2. — 3-е изд. — М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. — 1008 с.
3. **Сороко В.И.** Реле железнодорожной автоматики и телемеханики. — М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2002. — 696 с.

Секция 26

ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА

Председатель секции — зав. каф. АЭП, к.т.н., доцент

А.С. Анучин

Секретарь секции — к.т.н., доцент Д.А. Благодаров

*А.С. Абросимов, асп.; рук. В.Н. Мещеряков, д.т.н., проф.
(ЛГТУ, г. Липецк)*

ВЕКТОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ (ПЧ) НА БАЗЕ АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА ТОКА (АИТ) С РЕЛЕЙНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ТОКА (РРТ)

Применение систем управления с ПЧ на базе АИТ сдерживается из-за сложности построения замкнутых систем управления. Реализация релейного принципа управления АИТ позволяет упростить систему управления.

В существующих электроприводах с ПЧ на базе АИТ емкостной фильтр предназначается для фильтрации выходного тока и предотвращения перенапряжений на зажимах двигателя [1]. Предлагается, используя АИТ как источник тока, формировать ток обмотки статора.

Разработана векторная система управления электроприводом на базе АИТ с РРТ. Исследования предложенной системы управления проводились в программной среде MatLab Simulink. Электропривод переменного тока содержит преобразователь частоты, асинхронный электродвигатель, датчики тока, датчик скорости. Управление ПЧ на базе АИТ осуществляет РРТ, на который поступают сигналы задания на ток статора из системы векторного управления и токи обратной связи. Управляющими воздействиями в векторной системе управления являются задание на скорость и задание на потокосцепление ротора. Векторная система управления состоит из регулятора скорости, регулятора потокосцепления, блоков преобразования координат DQ-ABC, ABC-DQ, блоков вычисления синусоидальной и косинусоидальной составляющих тока статора, блока расчета угла поворота системы координат DQ относительно $\alpha\beta$, блока вычисления потокосцепления ротора. Структура блоков РРТ и ПЧ на базе АИТ рассмотрена в статье [2].

Исследована принципиально новая система управления, которая обеспечивает жесткость механических характеристик, высокое качество

напряжения и тока, формируемых на обмотках электродвигателя. Предложенная система может найти широкое применение в промышленности.

Литература

1. **Соколовский Г.Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Academia, 2006.
2. **Мещеряков В.Н., Абросимов А.С.** Анализ систем управления электроприводом на базе автономного инвертора тока с релейными регуляторами тока и релейными регуляторами напряжения со сглаживающим емкостным фильтром // Электротехнические комплексы и системы управления. 2011. № 3.

Л.Н. Акимова, студ.; рук. А.С. Анучин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ «ЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ»

На кафедре автоматизированного электропривода при поддержке компании АВВ создаются лабораторные стенды, которые предполагается использовать для проведения лабораторных работ по курсу «Логические системы управления электроприводов». Лабораторные работы посвящены изучению способов управления различными электроприводами на базе релейно-контакторных схем управления (РКСУ), программируемых логических матриц (ПЛМ), программируемого логического контроллера (ПЛК).

Создаваемые стенды условно разделены на зоны исследования электроприводов постоянного и переменного тока. В курсе «Логических систем управления электроприводов» предполагается работать на стороне «постоянного тока», где имеется следующий набор оборудования:

- двигатель постоянного тока с питанием от сети постоянного тока или от тиристорного преобразователя напряжения;
- синхронный двигатель с постоянными магнитами и питанием от речуперативного преобразователя частоты;
- дискретный датчик положения, установленный на муфте спарки двигателей, дающий 4 дискретных сигнала на обороте через 90°;
- релейно-контакторные схемы управления;
- плата релейного ввода/вывода с программируемой логической матрицей типа CPLD фирмы Xilinx;
- программируемый логический контроллер фирмы АВВ.

В курсе «Логические системы управления электроприводов» можно ставить два типа опытов: управление двигателем постоянного тока по заданным временным циклограммам и управление сервоприводом (синхронный двигатель при питании от преобразователя частоты) по циклограммам с опорными точками по положению с дискретного датчика [1].

В настоящее время производится подготовка методических рекомендаций по программированию ПЛК и работе с РКСУ для студентов и составляется банк заданий для проведения лабораторных работ.

Литература

1. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. М.: Академия, 2005.

*Е.С. Аладышева, В.А. Пугин, студенты; рук. А.Н. Ладыгин,
к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА, СНИЖАЮЩИХ ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СЕТЬ

Известно, что частотно-регулируемый электропривод на базе преобразователя частоты с инвертором напряжения и неуправляемым выпрямителем на входе может оказывать отрицательное влияние на сеть из-за несиноусоидальности потребляемого преобразователем тока. При этом возникающие в питающей сети гармонические искажения могут приводить к серьезным нежелательным последствиям в системах электроснабжения, таким как: перегрев трансформаторов и другого оборудования, сбой в работе контрольно-измерительных приборов, ошибки срабатывания автоматических выключателей, сбой в работе коммуникационного оборудования. Одним из наиболее доступных и эффективных средств борьбы с появлением высших гармоник в сети является установка пассивных фильтров или сетевых дросселей между сетью и потребителем. Это позволяет свести к минимуму влияние частотно-регулируемого электропривода на электросеть. В связи с этим актуальным является анализ эффективности названных инженерных решений, чему и посвящена данная работа.

В работе проведено исследование влияния на гармонический состав тока, потребляемого рассматриваемым электроприводом, трех возможных дополнительных элементов в схеме электропривода. Два из них устанавливаются между сетью и преобразователем, это полосовой фильтр или дроссель, а третий, дроссель постоянного тока, устанавливается в цепи конденсатора звена постоянного напряжения. Эксперименты, необходимые для исследований, проводились на лабораторном оборудовании Центра обучения «Schneider Electric — МЭИ» с использованием преобразователя частоты Altivar 71 мощностью 2,2 кВт. Основным критерий эффективности влияния дополнительных элементов на уровень гармонических искажений — значение коэффициента полных гармонических искажений (THD). Как и следовало ожидать, наиболее эффективным элементом является фильтр. Получены количественные данные, указывающие, что при его применении THD практически на порядок ниже, чем при использовании любого из дросселей. Проведена оценка влияния рассматриваемых дополнительных элементов на механическую характеристику электропривода.

Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе, а также в практике реального проектирования систем частотно-регулируемого электропривода при выборе опций преобразователя.

Н.В. Андреева, асп.; рук. В.Ю. Корнилов, д.т.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ТОЧНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Этап автоматизации сложных технологических процессов связан с все большим внедрением позиционных электроприводов (ПЭП), обеспечивающих перемещение и остановку исполнительного органа рабочей машины в заданном положении с высокой точностью. Стандартным решением при создании ПЭП является применение замкнутых систем электроприводов с различными двигателями (шаговыми — ШД, постоянного тока — ДПТ, асинхронными с короткозамкнутым — АД КЗР или фазным ротором — АД ФР) и датчиками обратной связи (импульсными или оптическими датчиками, энкодерами). Иногда к техническим установкам на базе ПЭП ввиду специфики их использования предъявляются высокие требования по взрыво- и искробезопасности. В таких недопустимо использование ДПТ или АД ФР, поэтому в них предпочтительнее применять системы преобразователь частоты — асинхронный двигатель (ПЧ — А) из-за отсутствия скользящих контактов, из-за простоты управления и высоких показателей энергоэффективности.

Основным критерием точности функционирования ПЭП является минимум отклонения исполнительного органа рабочей машины в процессе функционирования от заданной координаты.

Таким образом, исследование методов повышения точности функционирования ПЭП на базе системы ПЧ — АД является актуальной задачей. На точность перемещения исполнительного органа рабочей машины в первую очередь влияют погрешности информационно-измерительных каналов (ИИК) системы ПЧ — АД.

В докладе рассматриваются вопросы определения метрологических характеристик ИИК путем анализа геометрических характеристик годографа пространственного вектора тока статора, который должен представлять собой окружность. Изменение формы годографа пространственного вектора тока статора от окружности позволит судить о наличии погрешностей ИИК, которые будут влиять на точность позиционирования при перемещении исполнительного органа рабочей машины.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Важно в процессе работы с двигателями знать не только скорость вращения, но и точное позиционирование вала в конкретный момент времени. Для этих целей на практике существуют преобразователи угловых перемещений, называемые энкодеры. Удобно было бы использовать данные приборы и в процессе моделирования переходных процессов двигателей.

Целью работы является создание универсальной модели энкодера в программном комплексе Matlab, которую можно использовать при проектировании различных объектов.

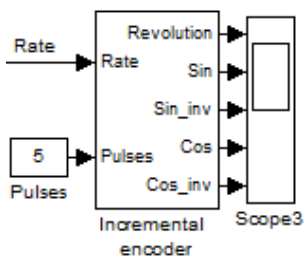


Рис. 1. Модель энкодера

Данная задача реализована в виде блока (рис. 1), на вход которого поступает сигнал скорости с вала двигателя. Импульс Revolution на выходе позволяет подсчитать количество оборотов. С помощью прямых и инверсных сигналов \sin , \cos определяется положение вала внутри оборота и направление вращения. Для регулирования разрешения энкодера существует возможность изменения количества импульсов на один оборот.

Основная идея получения последовательности импульсов изображена на рис. 2. Посредством интегратора сигнал скорости преобразуется в угол поворота. Затем, с помощью блоков Trigonometric Function и Relay, получается прямоугольный сигнал с периодом, равным одному обороту двигателя, который воздействует на второй интегратор. При изменении значения постоянной в блоке Compare to constant образуются импульсы необходимой ширины, частота которых прямо пропорциональна скорости вращения.

Таким образом, применение данного датчика позволяет с достаточно высокой точностью снять показания о положении вала двигателя. Энкодер может использоваться сразу в нескольких процессах моделирования без потери времени на его разработку.

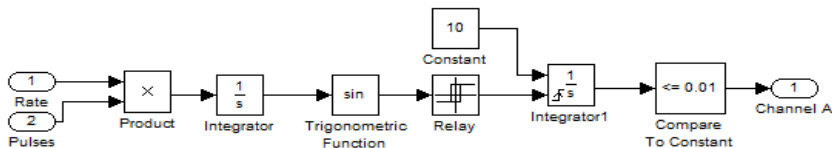


Рис. 2. Преобразование скорости двигателя в последовательность импульсов

А.И. Бойков, студ.; рук. В.И. Мещеряков, д.т.н., проф. (ЛГТУ, г. Липецк)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ПО АБСОЛЮТНОМУ СКОЛЬЖЕНИЮ

В настоящее время в различных областях промышленности эксплуатируется значительное количество электроприводов переменного тока, большая часть которых построена на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с частотным управлением [1]. Также существуют классы электроприводов, оснащенные асинхронным двигателем с фазным ротором с реостатным регулированием.

Системы управления частотным асинхронным электроприводом на базе асинхронного двигателя с фазным ротором могут быть усовершенствованы за счет применения новой системы коррекции по задаваемому значению абсолютного скольжения, изменение которого влияет на взаимное положение моментобразующих векторов, с использованием наблюдателей угла между векторами тока статора и намагничивающего параметра [2]. Следовательно, для приближения режима работы двигателя к оптимальному режиму и поддержания постоянства значения момента двигателя при отклонении от оптимального значения угла $\varphi_0(\omega)$ целесообразно в процессе работы электропривода осуществлять коррекцию задания на величину абсолютного рассогласования скоростей поля статора и ротора $\Delta\omega$.

При работе электропривода происходит температурный дрейф параметров двигателя, в частности изменяется активное сопротивление ротора и, соответственно, оптимальное значение абсолютного скольжения. Система коррекции осуществляет изменение сигнала задания $\Delta\omega$ на величину $\delta\omega$.

Представленная система электропривода реализует скалярное частотно-токовое управление асинхронным двигателем с фазным ротором, позволяет обеспечить энергосберегающие режимы, высокое быстродействие и качество регулирования, а также характеризуется простотой схемных решений и упрощенными математическими алгоритмами, позволяющими использовать адаптивные регуляторы при построении систем управления на базе однокристалльных ЭВМ.

Литература

1. **Мещеряков В.Н.** Управление асинхронными двигателями и системами асинхронного привода. Липецк: ЛФМИКТ, 2011.
2. **Мещеряков В.Н.** Системы асинхронного электропривода с управляемыми координатами моментобразующих векторов. Липецк: ЛГТУ, 2008.

М.В. Васильев, студ.; рук. А.С. Анучин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОСВЕЩЕНИЯ УЧЕБНЫХ АУДИТОРИЙ

Для контроля освещенности учебных аудиторий и лабораторий предлагается система управления с использованием беспроводных каналов связи. Система включает и выключает отдельные светильники или их группы в зависимости от освещенности аудитории. По беспроводному каналу осуществляется передача данных об освещенности аудитории под светильниками, связь с контроллером и интерфейсом пользователя.

Система автоматизации освещения состоит из управляющего шкафа, содержащего контроллер и пользовательский интерфейс, и из коммутационных модулей с датчиками света и беспроводным каналом управления [1, 2].

Коммутационный модуль строится на базе малопотребляющих контроллеров фирмы Texas Instruments. Он питается от осветительной сети и потребляет мощность не более 200 мВт вне зависимости от состояния нагрузки. Коммутационный модуль осуществляет определение текущей освещенности под источником света, а также включение и отключение одиночных светильников или их групп по команде контроллера.

Управляющий шкаф содержит контроллер управления на базе одноплатного компьютера под управлением Unix и пользовательский интерфейс — кнопки с индикацией или сенсорную панель. Управляющий шкаф считывает показания датчиков освещенности и выводит из работы светильники в местах, в которых достаточно естественной освещенности от окна, включает и отключает светильники по команде от пользовательского интерфейса на заданное время; например, через 45 мин после начала занятия выведение из работы части светильников сигнализирует преподавателю о перемене. Также управляющий шкаф принудительно отключает нагрузку после 22:00 в рабочие дни и запрещает включение нагрузки по выходным и праздничным дням.

Система поддерживает работу локального http-сервера для мониторинга своего состояния через веб-страницу аудитории.

Задачей автора являются создание опытного образца проектируемой системы, расчет и выбор компонентов, монтаж и наладка.

Литература

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Z-Wave>

С.М. Васильев, студ.; М.А. Захаров, соиск.;
рук. А.М. Захаров, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Актуальная проблема энергосбережения, вызванная непрерывным повышением цен на углеводородные носители, сейчас касается каждого потребителя.

Ряд конкретных механизмов, направленных на экономию энергии и ресурсосбережение, дает перестройку топливно-энергетического комплекса и снижение энергоемкости экономики, повышение эффективности использования энергии и применение энергосберегающих технологий и энергоэкономичного оборудования в электроэнергетике, на транспорте, в промышленном и жилищно-бытовом секторах (ЖКХ).

В России по статистике до 40 % используемых энергоносителей расходуется нерационально, причем на единицу промышленной продукции расход энергии в 2,5—3 раза выше, чем в индустриально развитых странах мира.

Одна из важнейших стратегических задач страны — сократить энергоемкость отечественной экономики на 40 % к 2020 г. Для ее реализации необходимо создание совершенной системы управления энергоэффективностью и энергосбережением

При этом наиболее важным направлением является энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве, так как именно в этом секторе нерационально расходуются огромные энергетические ресурсы. Потенциал энергосбережения ЖКХ составляет 30 %. Решение данной проблемы должно быть комплексным.

В ходе работы была выбрана насосная станция холодного водоснабжения, питающая часть города. Для принятия мер по энергоэффективности и ресурсосбережению, были проведены:

- 1) расчет и выбор частотно-регулируемого привода для насосов насосной станции;
- 2) выбор современной запорно-регулирующей и предохранительной арматуры и расчет места ее установки;
- 3) выбор датчиков и регуляторов сетевого давления и расчет места их установки на ответвлениях сети;
- 4) оптимизация работы системы водоснабжения, работы по диспетчеризации и автоматизации управления сетями.

По результатам работ создано логико-математическое описание взаимосвязи перечисленных выше компонентов и характеристик системы водоснабжения участка города. Разработана автоматическая система управления водоснабжением.

*И.М. Волков, студ.; Л.Н. Рассудов, асп.; рук. А.П. Балковой, к.т.н.,
с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

УСТРОЙСТВО ТЕСТИРОВАНИЯ КОНТРОЛЛЕРА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В настоящее время в электроприводе широко используются цифровые сигнальные микропроцессоры [1]. В связи с этим становится востребованным отладочный модуль, предназначенный для выявления дефектов в микропроцессорном контроллере электропривода на этапе производства [2].

Наличие дефектов, не выявленных на ранних стадиях, может привести к отказу в работе готовой системы. Отладочный модуль позволяет в автоматическом режиме обнаружить и локализовать неисправность.

В данной работе рассматривается проектирование тестового отладочного модуля для проверки работоспособности периферийных устройств контроллера электропривода: банков памяти, АЦП, цифровых портов ввода-вывода, блока ШИМ, а также интерфейса обмена данными.

Разработанный отладочный комплекс представляет собой плату с программным обеспечением, подключаемую к контроллеру электропривода. Плата проверяет внутреннюю и внешнюю память, а также последовательно опрашивает периферийное оборудование. Результат тестирования выводится в реальном времени на интерфейсную часть платы для контроля состояния пользователем.

Литература

1. **TMS320F2810**, TMS320F2811, TMS320F2812, TMS320C2810, TMS320C2811, TMS320C2812 Digital Signal Processors, Data Manual.

2. **Embedded Test for Processor and Memory Cores in System-on-Chips** / Tehranipour M.H., Nourani M., Fakhraie S.M. et al.; VLSI Circuits and Systems Laboratory Dept. of ECE, The University of Tehran.

*А.Р. Галиева, студ.; Н.А. Малев, ст. преп.;
рук. О.В. Погодицкий, к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)*

СЛЕДЯЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Системами автоматического регулирования (САР) с амплитудной модуляцией называются системы, в которых осуществляется умножение сигналов на величины, периодически меняющиеся во времени с несущей частотой ω [1]. Следящий электропривод с амплитудной модуляцией имеет большое практическое значение в различных отраслях промышленности.

Методы анализа и синтеза следящих электроприводов с амплитудной модуляцией базируются на решении задачи регулирования при значительном упрощении физических и математических зависимостей, характеризующих процессы в системах указанного класса. Это является следствием несовершенства используемого аппарата исследований. Развитие и широкое внедрение нестационарных САР на несущей переменного тока в различных отраслях техники, повышение требований к их точности и надежности вызывают необходимость совершенствования методов их проектирования и расчета. Разработка универсальных инженерных методов, позволяющих при исследовании САР на несущей частоте учитывать любое число гармонических составляющих спектра воздействий, является весьма актуальной.

Математически рассматриваемая задача сводится к исследованию линейных и нелинейных дифференциальных уравнений с периодически изменяющимися во времени коэффициентами [2]. Решение практических задач ведется с привлечением методов моделирования. Теоретическое изучение нестационарных следящих электроприводов связано с некоторыми трудностями, так как их динамические свойства не удастся описать обычными передаточными функциями, применяемыми в случае стационарных систем с постоянными параметрами. В работе исследуются вопросы, связанные с нелинейностями в звеньях САР на несущей переменного тока, учитываются люфт и неабсолютная жесткость зубчатой передачи и их влияние на устойчивость и динамическую точность таких систем.

Литература

1. **Сабинин Ю.А.** Позиционные и следящие электромеханические системы: учеб. пособие. СПб.: Энергоатомиздат, 2001. — 207 с.
2. **Ивей К.А.** Системы автоматического регулирования на несущей переменного тока. М.: Машиностроение, 1968. — 320 с.

МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ СОВРЕМЕННЫХ БЕСПИЛОТНЫХ МИНИ-ВЕРТОЛЕТОВ

Актуальность разработки систем визуального мониторинга на основе беспилотных дистанционно-управляемых мини-вертолетов обусловлена прежде всего высокими скоростными и маневровыми характеристиками автономных летательных аппаратов такого класса. В отличие от беспилотных самолетов, винтокрылые машины обеспечивают возможность разведки при проведении полицейских и военных операций в городских условиях, где пространство зачастую имеет весьма сложную конфигурацию со множеством препятствий различной природы.

Мехатронные модули (рис. 1), приводящие в движение узлы механической части беспилотных мини-вертолетов, являются сами по себе сложными микроэлектронными и электромеханическими системами, от точности регулирования координат которых зависят устойчивость режимов работы и качество получаемых наблюдательным комплексом данных. В этой связи задача анализа принципов работы указанного выше оборудования с целью разработки практических рекомендаций для его выбора представляет существенный интерес.

В ходе исследований нами составлены кинематические схемы основных узлов механики мини-вертолета, принципиальные схемы электронных устройств, функциональные схемы и алгоритмы взаимодействия программно-аппаратных средств систем управления движением, а также систем обработки информации датчиков полетных параметров. На основе перечисленных схем созданы математические модели привода несущего винта, приводов автоматов перекоса и специального вертолетного гироскопа, результаты анализа характеристик которых позволили разработать методику выбора мехатронных модулей беспилотного мини-вертолета.



Рис. 1. Мехатронные модули беспилотного мини-вертолета:

a — тяговый бесколлекторный двигатель привода несущего винта; *б* — сервопривод автомата перекоса и гироскоп

*Д.В. Горчаков, студ.; рук. В.В. Лыготчиков, д.т.н., проф.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

БЕЗДАТЧИКОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЕНТИЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

В настоящее время вентильные двигатели (ВД) считаются наиболее перспективными электромеханическими преобразователями благодаря своим высоким энергетическим показателям, компактности, надежности и низким эксплуатационным расходам. В связи с этим вентильные электроприводы интенсивно проникают на рынок бытовой и промышленной техники.

Как правило, ВД оборудуются датчиками положения ротора (ДПР) для определения момента подачи импульсов управления на ключи инвертора.

С точки зрения стоимости и надежности электропривода желательно избежать использования ДПР. При этом информацию о положении ротора получают косвенным путем, используя так называемые алгоритмы «бездатчикового» управления [1].

Известна схема управления ВД, в которой положение ротора определяется по прохождению через нуль противо-ЭДС в отключенной фазе [2]. Здесь от момента пересечения нуля сигналом противо-ЭДС отключенной фазы отсчитывается временная задержка, в течение которой ротор двигателя поворачивается на 30 эл. град. По истечении времени задержки производится коммутация фазы. В ходе моделирования в среде Simulink было обнаружено, что возникающие в моменты коммутации обмоток импульсные помехи существенно усложняют определение момента перехода через нуль противо-ЭДС, а следовательно, и систему управления в целом.

В предложенном алгоритме управления определение положения ротора производится путем анализа предварительно проинтегрированного сигнала противо-ЭДС. Интегрирование в данном случае позволяет исключить из алгоритма управления определение и отсчет задержки подачи управляющего импульса на ключи инвертора.

Моделирование в среде Simulink описанной системы показало, что помимо общего упрощения алгоритма работы системы управления, предложенный метод обеспечивает большую устойчивость системы управления к импульсным помехам, возникающим в результате коммутации обмоток двигателя.

Литература

1. **Панкратов В.В.** Вентильный электропривод: от стиральной машины до металлорежущего станка и электровоза // Электронные компоненты. — 2007. — № 2.
2. **Torres D.** Sensorless BLDC Control with Back-EMF Filtering Using a Majority Function // Microchip Technology Inc. — DS0AN1160. — 2008.

А.В. Грешков, студ.; рук. А.Н. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ПЛАВНОГО ПУСКА НА БАЗЕ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

В настоящее время устройства плавного пуска (УПП) получили широкое распространение в системах, где нет необходимости в регулировании скорости двигателя в рабочих режимах, а основная задача состоит в уменьшении броска тока и момента при пуске. В основном распространены две схемы УПП: с трехфазным и с двухфазным управлением [1]. Первый тип устройств является универсальным и подходит как для маленьких двигателей, так и для мощных машин. Устройства второго типа обычно выпускаются для двигателей мощностью до 50 кВт. Это связано с тем, что двухфазное управление ведет к появлению нежелательных вибраций двигателя. Однако сейчас на рынке появляются устройства с двухфазным управлением, рекомендуемые производителями для более высоких мощностей. В связи с отсутствием информации о принципах решения проблемы уменьшения вибраций при применении УПП второго типа актуальными являются сравнительные исследования процессов изменения токов и момента при пуске приводов с УПП обоих типов.

В процессе работы была создана компьютерная модель, позволяющая изучать специфические особенности динамических процессов, возникающих при пуске рассматриваемых систем электропривода. Были получены и проанализированы осциллограммы токов фаз и момента двигателя при различных мощностях и характере нагрузки, дана оценка влияния несимметрии фазных токов на двигатель, а также проанализированы способы управления тиристорами, позволяющие свести несимметрию к минимуму. Для подтверждения результатов моделирования были проведены эксперименты на лабораторном макете электропривода.

Результаты проведенных исследований позволили сделать выводы об особенностях применения различных схем мягкого пуска с учетом требований по ограничению вибраций механизмов при затяжных пусках. Полученные результаты позволят принимать правильные решения в практике проектирования электроприводов с мягким пуском двигателей различной мощности.

Литература

1. **ABB** (рус.). Устройства плавного пуска. Технический каталог.

А.В. Грещов, студ.; рук. А.Н. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ «ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВАЛА» С ДВУМЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

В настоящее время многие технологические процессы требуют применения схем двухдвигательного электропривода, в котором скорости вращения валов должны быть синхронизированы. Раньше для такой синхронизации применялись механические передачи, а в простейших случаях — механический вал. Поэтому рассматриваемую двухдвигательную схему с синхронизацией вращения валов очень часто называют «электрический вал». Результаты анализа простейших способов реализации подобных схем (схема с общим заданием на оба преобразователя, схема с заданием ведомому от ПЧ ведущего, схема с заданием ведомому с импульсного датчика на валу ведущего) указывают на ряд их существенных недостатков [1], поэтому представляется актуальным проведение исследований следящей системы «электрического вала», в которой ведомый привод следит не за изменением скорости ведущего, а за изменением его перемещения.

В работе исследовалась система, построенная с использованием блока встроенного контроллера преобразователя частоты. Контроллер применен для обработки сигналов с импульсных датчиков, установленных на обоих приводах, в целях непрерывного сравнения перемещения ведущего привода с перемещением ведомого. При появлении рассогласования в перемещениях корректируется задание на ведомом приводе. Таким образом, в данной системе синхронизируются не скорости приводов, а их перемещения. Установлено, что даже при использовании скалярного частотного управления в такой системе не возникает рассогласования при разности нагрузок двух приводов.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторном оборудовании Центра обучения «Schneider Electric — МЭИ» с использованием преобразователя частоты Altivar 71 с платой встроенного контроллера. Показано, что система, основанная на слежении за отставанием или опережением ведомого привода, позволяет выравнивать скорости приводов с высокой точностью и избежать недостатков ранее исследованных простейших систем [2].

Литература

1. **Грещов А.В.** Синхронизация скорости вращения двух частотно-регулируемых электроприводов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. 18-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Т. 2. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 301 с.
2. **Schneider Electric** (рус.) Altivar 71 Controller Inside

*В.В. Гуляев, студ.; рук. И.С. Саватеева, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

СИНТЕЗ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВЯЗЕЙ

В реальных системах электропривода механические связи не являются абсолютно жесткими, поэтому представление электромеханической системы как одностепенной приводит к существенным ошибкам. Упругие элементы могут стать причиной возникновения резонансных режимов, появления больших динамических перегрузок в механических передачах, развития усталостных напряжений и отказов.

Если при синтезе системы не учитывать упругие связи, это приведет к отличию характера движения исполнительного органа и вала электродвигателя от расчетных, т.е. к нарушению заданного режима работы механизма. Влияние упругих связей делает практически невозможными реализацию присущего тиристорным электроприводам высокого быстродействия и установку стандартных для жесткой системы настроек регуляторов. Последнее особенно актуально для приводов предельного быстродействия.

Целью данной работы являются исследование динамики электромеханических систем с упругой связью, установление границы пренебрежения упругостью и влияния на нее вариаций параметров как механической части, так и параметров системы управления. Управляемый источник энергии — тиристорный преобразователь. Принцип управления — двухконтурная система подчиненного регулирования с контурами тока и скорости.

В пакете прикладных программ MathLab Simulink разработана модель двухмассовой системы электропривода, учитывающая влияние упругих связей на быстродействие, колебательность и перегрузочную способность механизма. На базе созданной модели анализировались пути уменьшения влияния упругих связей в переходных процессах на поведение системы.

Исследования показали, что повышение жесткости элементов, демпфирующей способности системы с помощью введения гибких обратных связей по току, угловой скорости и напряжению электропривода, использование специальных устройств формирования задающего сигнала, повышение быстродействия контура тока с соответствующей перенастройкой регулятора скорости и использованием низкочастотных активных фильтров позволяют улучшить характер переходных процессов в электроприводе при наличии упругих механических связей.

Литература

1. **Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г.** Тиристорные системы электропривода с упругими связями. Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1979.
2. **Полецук В.И.** Инвариантная оптимизация упругой двухмассовой системы с подчиненным регулированием // Электричество. 1997. № 3.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ФАЗОВЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ В РОТОРЕ

Фазовое регулирование реализуется с помощью трехфазного мостового выпрямителя в роторной цепи асинхронного двигателя [1]. Основная сложность при управлении такого моста — синхронизация каналов системы импульсно-фазового управления с фазными ЭДС ротора, которые имеют переменную частоту, зависящую от скорости двигателя.

Традиционно для синхронизации используются только фазные напряжения. В этом случае происходит потеря информации от синхронизирующих сигналов на низких частотах, в результате чего ухудшается управляемость системы электропривода. Поэтому возникает задача получения точных синхронизирующих сигналов, которая может быть решена посредством формирования синхронизирующих ЭДС ротора.

В среде *MATLAB Simulink* разработана имитационная модель рассматриваемого электропривода, включающая блок синхронизации. С его помощью формируются линейные ЭДС ротора, полученные из фазных ЭДС, которые образуются путем суммирования фазных напряжений и активно-индуктивных падений напряжения в цепи переменного тока ротора.

На рисунке 1 показаны осциллограммы синхронизирующих сигналов в процессе пуска: *а)* — при выделении только напряжения; *б)* — при точном выделении синхронизирующей ЭДС.

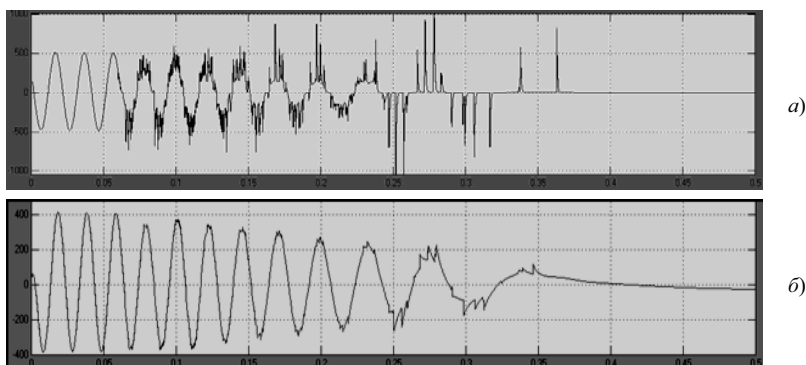


Рис. 1. Осциллограммы пуска

Как видно, точный способ синхронизации позволяет получить достаточно гладкую форму синхронизирующего сигнала без пиковых значений напряжения и потери информации на низких частотах, что способствует повышению управляемости и надежности электропривода.

Литература

1. **Барышников В.А.** Асинхронный электропривод с фазовым регулированием в роторной цепи // Труды III Междунар. (XIV Всеросс.) науч.-техн. конф. по автоматизированному электроприводу «АЭП-2001». Н. Новгород: Вектор-Тис, 2001. С. 62—64.

DESIGN OF A LINE START PERMANENT MAGNET MOTOR

A large amount of the primary energy resources are converted into electric energy and more than 50% is used to supply electric motors. Therefore, electric motor optimization for a better efficiency is essential for energy saving and the reduction of CO₂ emission. One of effective ways to achieve this goal is on the use of high efficiency motors. Line-start permanent magnet synchronous motors (LSPM) must be reconsidered seriously in this regard.

The objective of this research is to find an analytical model for the LSPM with magnet arrangement in series (Fig. 1a). This configuration has a number of advantages: simple and robust structure, better protection of buried permanent magnets (PMs) from demagnetization.

The LSPM starts as an induction motor by the resultant of two torque components i.e. the asynchronous torque developed by the cage and magnet opponent torque (braking torque) [1].

In order to reduce the magnet braking torque, an analytical model based on the motor geometry was developed and integrated into an optimization procedure under specification constraints. It permits us to find the optimal volume of magnets in terms of the improved efficiency and reduced braking torque (Fig. 1b).

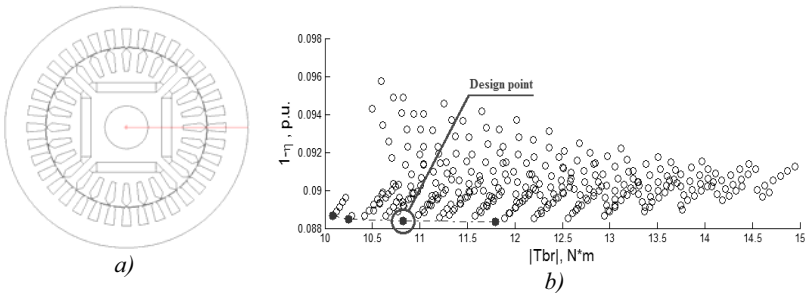


Fig. 1: a) LSPM architecture under study; b) Pareto front of efficiency versus braking torque

References

[1] J. Soulard and H.P. Nee “Study of the synchronization of line-start permanent magnet synchronous motors,” Proc. of 2000 IEEE Ind. Appl. Conf., Roma, 8-12 Oct. 2000, vol. 1, pp. 424–431.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЛОГОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ПЕРСОНАЛЬНОМ КОМПЬЮТЕРЕ

В настоящее время на кафедре АЭП разработана система протоколирования результатов работы систем управления электрическими преобразователями электроприводов на Flash-карты памяти типа SD [1]. Лог с результатами работы системы управления пишется циклически, более 10 параметров с частотой съема 100 Гц записываются на интервале времени в 2 недели. Данная информация полезна разработчикам и эксплуатирующему персоналу для анализа энергетических режимов работы, предупреждения неисправностей и выявления причин неисправностей при их возникновении. В данной работе рассмотрен вопрос отображения накопленной информации на персональном компьютере.

Для этих целей создается программа верхнего уровня в среде «Си++ Builder», которая при подключении к компьютеру карты памяти с собранной информацией копирует все ее содержимое, преобразует данные в изначальный формат (дробные десятичные числа) и представляет их в удобном для пользователя виде. Таковыми являются либо набор таблиц с временем сбора информации и числовыми данными архивируемых переменных на данном интервале времени, либо уже готовые графики изменения переменных во времени. Условная схема преобразования данных из массива карты памяти в удобную пользовательскую форму представлена на рис. 1.

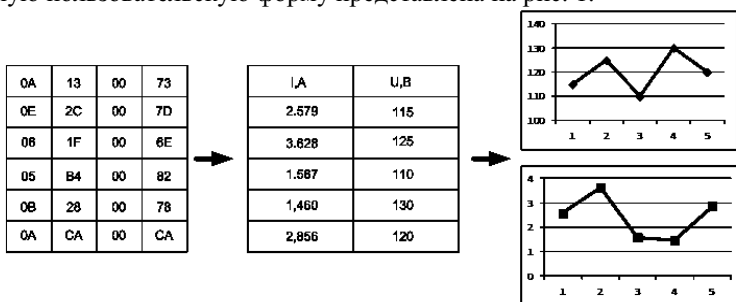


Рис. 1. Условная схема преобразования данных из массива карты памяти в удобную пользовательскую форму

Литература

1. Козаченко В.Ф. Встраиваемые высокопроизводительные цифровые системы управления. Практический курс разработки и отладки программного обеспечения сигнальных микроконтроллеров TMS329x28xxx в интегрированной среде Code Composer Studio: учеб. пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010.

Д.М. Исаев, студ.; рук. О.И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЯНУЩЕЙ КЛЕТИ ДЛЯ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Расширение объемов производства металлических заготовок с применением машин непрерывного литья привело к существенному изменению металлургических процессов. В конце XX в. доля стали, полученной непрерывным литьем, в странах ЕС достигла 96,4 %, в Японии — 97,2 %, в США — 95,6 %. К сожалению, в Российской Федерации это значение не превышает 50%.

Стоит задача проектирования и создания электропривода и систем управления механизмом вытягивания машины непрерывного литья горизонтального типа для производства заготовок круглого сечения диаметром до 3 мм из меди и спецсплавов на ее основе.

Для получения качественного выходного изделия к приводу тянущей клетки предъявляются достаточно высокие требования: средняя скорость литья — до 1000 мм/мин, частота рабочих циклов — до 90 1/мин, шаг рывка — 5..20 мм, что составляет 11,5..46 градусов оборота рабочего вала. Важной особенностью агрегата является отсутствие механизма качения кристаллизатора, что дополнительно накладывает на систему привода ролика вытягивания жесткие требования в динамических режимах и режимах разгона и торможения.

Для решения поставленной задачи выполнен анализ тахограммы процесса вытягивания заготовки с позиции эффективного момента и нагрева двигателя. Из-за высоких требований к точности поворота рабочего вала и значительного количества включений привода был применен безредукторный комплектный сервопривод производства Delta Electronics. Подобное решение позволило существенно повысить уровень автоматизации реконструируемой машины и реализовать управление процессом с заданными показателями точности с возможностью изменения параметров «на ходу», что необходимо при работе с экспериментальными сплавами. Выбранное техническое решение делает возможным применение подобных систем и для больших установок с диаметром выпускаемых заготовок до 80 мм.

Разработан опытный образец установки, обобщены результаты исследований энергетических показателей и тепловых режимов приводного двигателя, подтверждена работоспособность и эффективность установки.

УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С МНОГОУРОВНЕВЫМ КАСКАДНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

Высоковольтные преобразовательные устройства широко используются во многих отраслях промышленности, и потребность в их установке или замене существующего оборудования в целях модернизации производства постоянно растет. Высоковольтный частотно-регулируемый электропривод (ВЧРП) позволяет управлять технологическим процессом, обеспечивая максимальную эффективность, надежность с сохранением качества процесса.

Использование высоковольтных преобразователей с многоуровневой структурой существенно улучшает качество выходного напряжения, снижая потери в двигателе и повышая эксплуатационную надежность оборудования.

Наибольшее распространение среди известных схемотехнических решений многоуровневых преобразователей получила каскадная топология, построенная на основе последовательно соединенных в каждой фазе одно-типных ячеек, представляющих собой звено постоянного напряжения с однофазным инвертором. Каждая ячейка получает питание от изолированной обмотки многообмоточного трансформатора.

Для управления многоуровневым преобразователем разработан векторный алгоритм ШИМ, особенностью которого является снижение коммутационной нагрузки при обеспечении заданных показателей качества электроэнергии. Для исследования алгоритмов ШИМ управления составлена модель 17-уровневого трехфазного каскадного инвертора, учитывающая реальные параметры силовой ячейки (емкость звена, тип IGBT инвертора) и питающего многообмоточного трансформатора. Моделирование показало снижение потерь на 43—46 % при векторном формировании ШИМ по сравнению традиционной синусоидальной ШИМ при оптимальной частоте модуляции.

В модели высоковольтного электропривода реализована частотная система управления по закону $u/f = \text{const}$ с динамической стабилизацией и алгоритмом компенсации небаланса средних фазных напряжений ячеек. Особенности векторного алгоритма ШИМ в многопроцессорной конфигурации ВЧРП являются локализация расчетов управления для всех ячеек в главном контроллере и необходимость выделения ресурсов для передачи управления и информации о напряжениях. Составлена модель и проведено исследование работы ВЧРП с векторной системой управления с прямой ориентацией по полю и раздельным регулированием магнитного потока и электромагнитного момента. Результаты моделирования подтверждает практическая реализация алгоритмов управления на низковольтном опытном макете ВЧРП.

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК ТРЕХФАЗНОГО ПИТАНИЯ

В удаленных районах особенно остро стоит вопрос обеспечения питания поселков от дизель-генераторных установок. Обычно эти установки имеют спарку из дизеля и синхронного генератора, работающую на фиксированной частоте вращения, однако данное решение проигрывает по энергетическим показателям системе с дизелем и генератором с регулируемой частотой вращения и инвертором, работающим на нагрузку через синусный фильтр. В связи с этим возникла задача разработки такого источника и программного обеспечения для его управления. Требуемое напряжение — переменное синусоидальное трехфазное частотой 50 Гц и величиной 380 В. В качестве нагрузки могут выступать как трехфазные, так и однофазные электроприемники.

Инвертор получает питание от звена постоянного тока (ЗПТ), напряжение на котором обеспечивается электрогенератором, приводимым в движение дизельным двигателем. Номинальное напряжение ЗПТ составляет 950 В.

Аппаратная часть состоит из двух основных блоков: понижающего DC/DC-преобразователя и шестиключевого инвертора. DC/DC-преобразователь обеспечивает понижение напряжения с 950 В общего ЗПТ до 650 В промежуточного звена постоянного тока, от которого питается инвертор. На выход шестиключевого инвертора подключается синусный фильтр для подавления высших гармоник напряжения и улучшения синусоидальности выходного напряжения. Отфильтрованное переменное напряжение 380 В подается потребителям.

Задачей автора была реализация системы управления (СУ). Обе части СУ реализованы на одном микроконтроллере. Структура системы управления DC/DC-преобразователем состоит из внешнего контура напряжения промежуточного ЗПТ (ПИ-типа) и внутреннего контура тока дросселя промежуточного ЗПТ (П-типа с коррекцией по данным измерения напряжений промежуточного и общего ЗПТ). Структура системы управления инвертором — классическая двухконтурная с внешним контуром напряжения на выходе синусного фильтра и внутренним контуром тока в дросселях синусного фильтра (ПИ-типа, в координатах d, q , вращающихся с частотой 50 Гц) [1].

Литература

1. Анучин А.С., Силаев Ф.А. Блок регулирования напряжения для автономной системы электроснабжения пассажирских вагонов поездов дальнего следования // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2010. №6. — С. 55—64.

Н.А. Ладыгин, студ.; рук. М.Г. Бычков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ НАСОСОВ НА БАЗЕ ПЛК И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Для обеспечения бесперебойности работы различных насосных станций, как правило, используют группу насосов, работающих на общую магистраль, часть из которых находится в резерве, а другая часть регулируется для обеспечения заданных параметров технологических режимов при различных возмущающих воздействиях, основными из которых являются изменение расхода и гидравлических характеристик выходной магистрали.

Анализ процессов эксплуатации таких систем показывает, что «слабым звеном» являются подшипники вращающихся механических частей и статорные обмотки асинхронных двигателей (АД). Бесперебойность работы установки при отказе этих элементов обеспечивается их автоматическим отключением и включением резервного насоса. Аварийные ситуации в гидравлической магистрали могут быть из-за гидравлических ударов, возникающих при прямом пуске АД от промышленной сети. Предотвращение таких ситуаций обеспечивается применением устройств плавного пуска или преобразователей частоты (ПЧ).

Ранее были рассмотрены различные варианты построения САУ группой насосов на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) и частотно-регулируемых асинхронных электроприводов. Для регулирования суммарной производительности группы насосов достаточно применить один ПЧ, подключаемый с помощью вспомогательных контакторов к любому АД, альтернативным источником питания для которых является трехфазная сеть частотой 50 Гц. Поочередное регулирование скорости АД не только позволяет экономить электрическую и тепловую энергии, но и обеспечивает более равномерный износ оборудования. Детально вопросы энергосбережения средствами регулируемого электропривода рассмотрены в [1].

Для повышения отказоустойчивости системы предлагается использовать два ПЧ, один из которых находится в «горячем» резерве. Аналогично резервируется и ПЛК. В докладе рассмотрена практическая реализация отказоустойчивой системы группового управления на оборудовании фирмы Schneider Electric: ПЧ типа Altivar 61, ПЛК Modicon M258, диалоговой операторской панели Magelis.

Литература

1. **Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В.** Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 208 с.

В.В. Лобзенко, студ.; рук. М.Г. Бычков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Микропроцессорная система управления является неотъемлемой частью вентильно-индукторного электропривода (ВИП). Реализация потенциальных преимуществ ВИП в значительной мере зависит от применения эффективных алгоритмов и структур систем управления. Существенные отличия элементов ВИП от их аналогов в традиционных частотно-регулируемых электроприводах делают нерациональным применение в ВИП традиционных систем скалярного и векторного управления.

Известно множество алгоритмов и структур, специально разработанных для систем автоматического управления (САУ) ВИП [1]. В данной работе для облегчения практической реализации различных вариантов САУ разрабатывается специализированная библиотека программных модулей. Разработка и отладка программного обеспечения проводятся на отладочной плате микроконтроллера MC8037 фирмы Freescale Semiconductor в интегрированной среде CodeWarrior [2]. Библиотека реализуется на языке C++ и может использоваться в различных системах управления ВИП, различающихся числом фаз, функциональным набором датчиков и регуляторов, реализуемыми режимами работы. В целях правильного распределения ресурсов процессора и периферийных устройств микроконтроллера учитываются их особенности при разработке соответствующих программных модулей.

Поскольку ВИП относится к классу вентильных электроприводов, в которых коммутация фаз осуществляется в функции положения ротора, особое внимание уделено реализации программного модуля коммутатора фаз как в вариантах управления по сигналам датчика положения ротора с различной разрешающей способностью, так и в так называемом «бездатчиковом» управлении.

Литература

1. **Бычков М.Г.** Алгоритмы и системы управления вентильно-индукторного электропривода // Вентильно-индукторный электропривод: Докл. науч.-практ. семинара 1 февраля 2007 г.— М.: Издательство МЭИ, 2006. — С. 34 — 72.
2. **Гибридные DSP-микроконтроллеры** компании Freescale Semiconductor / И. Шагурин, Ю. Бирюков, К. Бочаров, М. Мокрецов // Chip News. 2005. № 6. С. 36—41.

М.М. Лосихин, асп.; рук. В.Н. Мещеряков, д.т.н., проф. (ЛГТУ,
г. Липецк)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЧАСТОТНОМ И ПЛАВНОМ ПУСКЕ МОЩНОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Пуск с работу синхронного двигателя мощностью порядка 10 МВт связан с определенными трудностями: большой пусковой ток, колебания ротора вследствие несимметрии магнитной цепи синхронного двигателя. В большинстве случаев пуск синхронных двигателей производится включением в сеть через пусковой реактор или трансформатор, что обуславливает большие потери. При применении современных систем частотного и плавного пуска можно добиться значительной экономии электроэнергии.

Плавный пуск двигателя осуществляется путем фазового регулирования напряжения на двигателе от нуля до номинального значения при замкнутой обмотке возбуждения на пусковое сопротивление. Важным условием является наличие пусковой обмотки у синхронного двигателя. Плавное повышение напряжения позволяет значительно снизить пусковой ток и динамические нагрузки.

При частотном пуске двигателя без замкнутой системы управления в начале переходного процесса наблюдаются колебания ротора и происходит затягивание пуска. Графики переходных процессов представлены на рис. 1. Математическая модель для исследования была основана на модели представленной в [1].

С указанной проблемой можно справиться, применив замкнутую систему управления, которая следит за отклонением нагрузочного угла θ . Также такая система позволяет обойтись без коммутаций в цепи возбуждения, так как возбуждение подается до начала пуска.

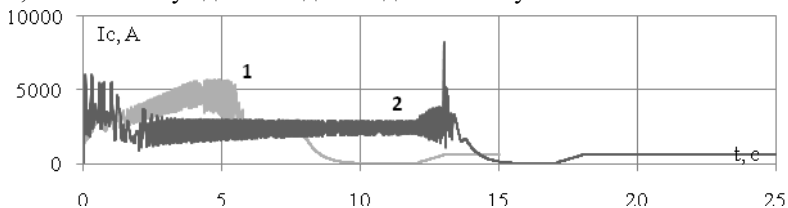


Рис. 1. Графики переходных процессов:
1 — плавный пуск; 2 — частотный пуск

Литература

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: ACADEMIA, 2006.

*Н.В. Малафеев, Н.В. Суханов, студенты; рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД «ИССЛЕДОВАНИЕ СИНУСНО-КОСИНУСНОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ТРАНСФОРМАТОРА»

В современных системах электропривода и автоматики в качестве первичных датчиков угловых перемещений широко используются синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ), преобразующие угол поворота механизма в электрический сигнал.

Разработанный лабораторный стенд для исследования СКВТ включает в себя макет для исследования СКВТ типа ПМБ-1 (рис. 1), источник напряжений питания ПМБ-1 (звуковой генератор), фазочувствительный выпрямитель (ФЧВ), источник напряжений питания ФЧВ и двухлучевой электронный осциллограф.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: 1 — синусно-косинусный вращающийся трансформатор типа ПМБ-1; 2 — корпус макета; 3 — клеммы подключения общих точек; 4 — транспортер подвижный; 5 — рукоятка поворота ротора ПМБ-1; X1 — выходной разъем ПМБ-1; X2 — контрольный разъем.

Лабораторный практикум, проводимый на стенде, предусматривает исследование СКВТ в амплитудном и фазовом режимах работы.

В ходе выполнения лабораторных работ снимаются осциллограммы основных сигналов СКВТ и ФЧВ, с помощью которых студенты определяют экспериментально параметры СКВТ ПМБ-1 (число пар полюсов, коэффициент трансформации и др.), форму и параметры сигналов ФЧВ, изучая таким образом и первичный датчик угла, и устройства обработки его сигналов, входящие в состав измерителей угловых рассогласований.

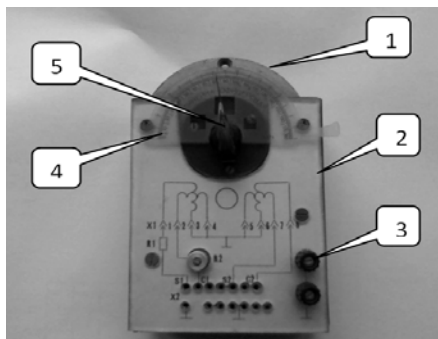


Рис. 1. Макет для исследования ПМБ-1

*Д.Г. Маямсина, студ.; Н.А. Малев, ст. преп.;
рук. О.В. Погодицкий, к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)*

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

В настоящее время широкое применение в технике находят устройства и системы автоматического управления (САУ), использующие в основе построения явления, связанные с изменением параметров их элементов. Характерным примером таких систем являются адаптивные системы автоматического управления, необходимость применения которых возникает в случае изменяющихся условий работы и при отсутствии точной информации о взаимосвязях в сложных современных объектах [1]. В связи с развитием идей адаптации стала выявляться роль параметрических воздействий и в традиционных САУ электроприводов, что позволило более полно оценивать их свойства и создавать условия для усовершенствования.

Целью исследования является рассмотрение основных понятий о параметрических воздействиях и особенностях реализации принципа корректирующей обратной связи с помощью параметров следящего электропривода, приводящих к параметрическим обратным связям и построению САУ электропривода со стабилизацией динамических свойств [2].

Рассматриваемая проблема решается путем изучения двух направлений применения параметрического управления: стабилизации состояний (координат) электропривода и его динамических свойств и адаптивного поведения электропривода для решения практических задач в изменяющихся условиях работы объекта управления при наличии параметрических возмущений. Обосновываются преимущества инженерной методики синтеза нелинейной САУ следящего электропривода, реализуемой с помощью применения корректирующих цепей параметрических обратных связей.

Литература

1. **Фрадков А.Л.** Адаптивное управление в сложных системах: бесперебойные методы. — М.: Наука, 1990. — 286 с.
2. **Озеряный Н.А.** Системы с параметрической обратной связью. — М.: Энергия, 1974. — 152 с.

ЗАЩИТА ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ I2t АЛГОРИТМА

Защита двигателя от перегрузки — важная задача, стоящая перед разработчиком. Известно, что основными причинами выхода из строя двигателя являются токи короткого замыкания и перегрузка, вызывающая перегрев обмоток двигателя. Для выявления перегрева следует использовать датчики температуры, установленные в обмотках, однако значения температуры в разных частях двигателя сильно различается, поэтому ее сложно измерить именно в наиболее нагретых точках.

Альтернативным методом защиты от перегрузки является контроль за потоком мощности, поступающей в двигатель, амплитудой и длительностью токов в обмотках [1]. Для этого используется I2t алгоритм. Суть этого алгоритма заключается в циклическом опрашивании датчиков тока и накоплении значений:

$$I2t = I^2 t - I_{cont}^2 t, \quad (1)$$

где I — текущее значение тока, I_{cont} — длительно допустимое значение тока. Если значение I_{cont} превышает значение, задаваемое пользователем, подается команда на отключение двигателя. Подобным алгоритмом пользуются такие компании, как Copley Controls, Omron, Siemens. Недостатком является интегрирование I2t алгоритма защиты двигателя в центральный микропроцессор, так как при выходе его из строя (аварийный режим) защита двигателя пропадает.

Преимуществом разработанного автором устройства является его независимость от центрального микропроцессора. Для реализации алгоритма I2t используется микроконтроллер PIC12f683, имеющий 4-канальный встроенный 10-разрядный АЦП для опроса датчиков тока. Устройство выполнено в виде отдельной миниатюрной платы, устанавливаемой опционально в блок управления двигателем с помощью специальных разъемов.

Литература

1. **Copley Controls** Technical Note: Protecting Motors against overload conditions using “I squared T” methods. Rev. 1.1 06/13/01.

*Ю.Н. Митрофаненков, асп.; рук. А.Е. Малиновский, д.т.н., проф.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ

Одна из особенностей вентильно-индукторного электропривода (ВИП) в традиционном исполнении — наличие датчика положения ротора, что приводит к удорожанию электропривода.

Целью данной работы является устранение из системы электропривода датчика положения ротора, что достигается использованием специальных алгоритмов и режимов бездатчикового управления.

Для реализации поставленной цели разработан способ управления вентильно-индукторной машиной (ВИМ), при котором ВИМ одновременно работает в режиме двигателя и в режиме датчика углового положения. При этом одной из особенностей разрабатываемого способа является то, что можно контролировать угловое положение ротора, не формируя электромагнитный момент, т.е. заставить работать ВИМ в режиме датчика углового положения. Данный способ дает возможность контролировать угловое положение во всех режимах работы ВИМ.

Для определения углового положения ротора ВИМ запитаем две не действовавшие на данном такте работы катушки, расположенные в разных фазах ВИМ, от квадратурных источников тока частотой 10 кГц. Для исключения влияния квадратурных токов на электромеханическую характеристику двигателя их величина на порядок меньше номинальной. Квадратурные токи приводят к возникновению в магнитной системе ВИМ информационного потока, фаза которого зависит от углового положения ротора машины. Данный поток наводит в катушках ВИМ ЭДС частотой 10 кГц. Определять угловое положение ротора ВИМ будем по фазе наведенной ЭДС.

Для проверки работоспособности предлагаемого метода в среде MatLab 2008 разработана математическая модель бездатчикового вентильно-индукторного электропривода, а также собран лабораторный стенд [1], в котором ВИМ работала в режиме датчика углового положения. Результаты моделирования и лабораторных испытаний подтвердили работоспособность предлагаемого способа. Разработанный способ дополняет существующие и может использоваться в электроприводах.

Литература

1. **Митрофаненков Ю.Н.** Исследование информационной системы бездатчикового вентильно-индукторного электропривода//Сб. трудов 9-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика». Т.2. Смоленск, 2012.

А.Е. Наживин, студ.; рук. А.С. Анучин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ МАТРИЦ

На кафедре автоматизированного электропривода при поддержке компании АВВ создаются лабораторные стенды, которые предполагается использовать для проведения лабораторных работ по курсу «Логические системы управления электроприводов». Программируемые логические матрицы являются одним из изучаемых инструментов реализации систем управления электроприводов [1].

В составе лабораторного стенда имеются:

- спарка двигателя постоянного тока и синхронного двигателя с постоянными магнитами с установленным на вал дискретным датчиком положения, выдающим четыре дискретных сигнала через 90 градусов;
- преобразователи для питания двигателя постоянного тока и синхронного двигателя;
- релейно-контакторные схемы управления;
- плата релейного ввода/вывода с программируемой логической матрицей типа CPLD фирмы Xilinx;
- программируемый логический контроллер фирмы АВВ.

В рамках данной работы разрабатывается методический комплекс для проведения лабораторных работ, где система управления проектируется студентами на базе ПЛИС. В работе решаются следующие задачи:

- разработка платы аппаратного таймера для тактирования процессов в программируемой логической матрице ввиду отсутствия встроенных средств;
 - разработка методических рекомендаций по использованию среды разработки Xilinx ISE WebPack студентами;
 - подготовка банка заданий для выполнения студентами.
- Апробация работы запланирована на весенний семестр 2013 г.

Литература

1. **Терехов В.М., Осипов О.И.** Системы управления электроприводов. М.: Академия, 2005.

С.В. Петрашек, студ.; рук. О.И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД СТЕНДОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТРАНСМИССИЙ ВЕРТОЛЕТОВ

В работе рассматривается система регулируемого электропривода [1] для испытания главной трансмиссии вертолета Ка-226.

Вместо ранее установленных дизельных двигателей к входным валам испытуемого редуктора (ИР) подключены двигатели постоянного тока независимого возбуждения на напряжение 600 В. Создаваемый ими крутящий момент передается через редуктор на нагрузочные устройства, выполненные на основе генераторов постоянного тока независимого возбуждения.

При работе установки механическая энергия, переданная от двигателей в генераторы через ИР, преобразуется в электрическую энергию, которая поступает обратно на двигатели. Таким образом, в основе электропривода лежит замкнутый электромеханический контур, который потребляет энергию извне (т.е. из питающей сети) только для компенсации потерь. Это обеспечивает крайне высокую энергетическую эффективность установки и, как следствие, снижение затрат на эксплуатацию. КПД установки при режиме с наибольшей нагрузкой составляет 80 %.

Для компенсации потерь в электромеханическом контуре, а также для регулирования скоростей двигателей к их якорным обмоткам подключены тиристорные преобразователи Simoreg фирмы Siemens, питающиеся от согласующих трансформаторов 380/500 В. Также для осуществления двухзонного регулирования скоростей двигателей и регулирования нагрузочных моментов генераторов к их обмоткам возбуждения подключены тиристорные преобразователи меньшей мощности, питающиеся от напряжения 380 В.

Задачей автора являлись анализ статических и динамических режимов работы стенда, выбор элементов силовой части электропривода, настройка регуляторов для компенсации колебаний, вызванных упругостями в механической части, а также синтез системы управления электроприводом для обработки требуемых технологических режимов работы установки.

Литература

1. **Ключев В.И.** Теория электропривода: учеб. для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1998.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ СТУДЕНЧЕСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ИГЭУ «ОБЩЕСТВО МЕХАТРОНИКИ И КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

В настоящее время руководство Ивановского государственного энергетического университета (ИГЭУ) уделяет значительное внимание развитию студенческой научно-исследовательской деятельности и, что не маловажно, ее материальному стимулированию. Одним из сообществ, стремящихся внести вклад в развитие науки, стала команда студентов и молодых ученых кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок (ЭП и АПУ), желающих освоить такие новые и стремительно развивающиеся направления в современной науке направления, как мехатроника и техническая кибернетика. Инициатором создания, идейным вдохновителем и лидером сообщества, получившего название «Научно-исследовательское студенческое объединение «Общество мехатроники и кибернетических систем» (МиКС) является старший преподаватель кафедры ЭП и АПУ Репин А.А., участник ведущей научной школы Российской Федерации НШ-5921.2008.8 «Электромехатроника и управление» под руководством ректора ИГЭУ профессора Тарарыкина С.В.

Целями деятельности созданного нами общества «МиКС» являются:

- развитие научного потенциала студентов, аспирантов и молодых ученых ИГЭУ путем привлечения их к реализации инновационных проектов различного уровня в области мехатроники и технической кибернетики;
- повышение качества подготовки кадров за счет преодоления психологических барьеров в общении и обмене знаниями между студентами, аспирантами и молодыми учеными разного возраста.

Научные исследования и опытно-конструкторские разработки проводятся участниками общества «МиКС» в следующих направлениях:

- мехатронные системы визуального мониторинга на основе автономных дистанционно-управляемых мобильных комплексов;
- мехатронные системы дискретных перемещений на основе шаговых электроприводов.

На данный момент основной задачей, решаемой обществом «МиКС», является формирование материальной и интеллектуальной базы сообщества. Развиваясь и претворяя в жизнь наши планы, мы помним о том, что с приобретением официального статуса «студент» молодому человеку открывается возможность разрабатывать свои научные проекты и реализовывать их. Именно для научной самореализации студентов в области такой перспективной науки, как мехатроника, мы и создали общество «МиКС».

Г.И. Потапов, студ.; рук. А.С. Анучин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УНИФИЦИРОВАННОЙ АППАРАТНО- НЕЗАВИСИМОЙ СЛУЖБЫ ДОСТУПА К СЕРВИСНЫМ ФУНКЦИЯМ

Данная работа посвящена разработке методики реализации унифицированной аппаратно-независимой службы доступа к сервисным функциям.

Система управления современного преобразователя частоты содержит не только контуры управления, но и сервисные службы, такие как журнал событий, параметры, осциллографические и аварийные данные и др. Обычно доступ к сервисным службам осуществляется через пульт управления по специализированному протоколу. Достаточность такого решения исчерпала себя, потому что современные преобразователи частоты стали поддерживать большое количество различных коммуникационных интерфейсов [1, 2], для каждого из которых требуется написание своего протокола, а также возникает проблема множественного доступа от различных интерфейсов.

Решение этих задач возможно в рамках представленной в данной работе методики. Основой методики является унифицированный интерфейс к сервисным службам, реализованный на единой форме окна, по которому идет обращение к различным сервисам, и на четкой последовательности действий по обработке обращений.

При обращении к любой сервисной службе от различных интерфейсов отправляется запрос, формат которого неизменен, после чего интерфейс ожидает ответа от службы такого же формата. Во избежание множественного доступа к одной службе от разных интерфейсов применяются последовательность запросов и проверка службы по состоянию: занята она обработкой запроса или свободна.

Применение единой методики написания протоколов позволяет легко модернизировать существующие и добавлять новые протоколы, а также упрощает сотрудничество нескольких разработчиков при их совместной работе.

Литература

1. **CANopen**, Application Layer and Communication Profile, CiA Draft Standart 301, V.4.02, 2002.
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Modbus>

Л.Н. Рассудов, асп.; рук. А.П. Балковой, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Сервоприводы на базе синхронных машин с возбуждением от постоянных магнитов имеют высокие динамические показатели, особо востребованные в прецизионных применениях [1]. Современные средства управления электрическим приводом позволяют производить анализ свойств сервопривода в частотном диапазоне. Частотные характеристики системы дают более полное представление о ее статических и динамических свойствах по сравнению с часто используемой в настоящее время переходной характеристикой — реакцией системы на скачок задания [2].

Одной из величин, характеризующих динамические свойства электропривода, является полоса пропускания контуров регулирования (положения, скорости, силы/тока). Использование частотных характеристик позволяет оптимизировать настройки в целях расширения полосы пропускания и увеличения быстродействия системы. Значительное расширение полосы пропускания системы можно получить введением сигналов предупредления. По результатам оптимизации прямых связей на модели в пакете MatLab полоса пропускания контура скорости прецизионного линейного электропривода [1] (на базе линейной синхронной машины ЛСМ-1.5-3.3 и сервоусилителя DDU5), разрабатываемого на кафедре АЭП НИУ «МЭИ», увеличилась с 290 до 560 Гц.

Снятие частотных характеристик при использовании современных средств управления не требует дополнительного оборудования. Настройка сервопривода значительно упрощается благодаря информации об устойчивости всей системы с учетом влияния каждого из ее элементов (регуляторов, наблюдателей, прямых связей, программных заданий и задержек системы управления) и резонансов, в том числе механических [2, 3].

Анализ системы в частотном диапазоне позволяет ускорить получение оптимальных настроек коэффициентов регуляторов, прямых связей, наблюдателей, а также выявить нежелательные резонансы в целях их подавления или устранения.

Литература

1. Балковой А.П., Цаценкин В.К. Прецизионный электропривод с вентильным двигателем. М.: Издательский дом МЭИ. 2010.
2. Ключев В.И. Теория Электропривода. М.: Энергоатомиздат, 2001.
3. Krah J.O. Antriebsinterne Frequenzanalyse zur Parameteroptimierung von Servoreglern. SPS/IPC/Drives, Seite 105-113, Nurnberg, 2007.

*Н.В. Савельев, асп.; рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА С АКТИВНЫМ ФИЛЬТРОМ ГАРМОНИК

Проводятся исследование и модернизация системы мощного (6,3 МВт) асинхронного электропривода газоперекачивающего агрегата, установленного на одной из компрессорных станций центрального региона РФ и построенного по схеме «трехуровневый преобразователь частоты с АИН — асинхронный электродвигатель» (ТАИН-АД). Наряду с известными достоинствами такие схемы преобразователей имеют ряд недостатков:

- влияние системы на питающую сеть внесением гармонических искажений, которое проявляется в повышенной вибрации синхронных двигателей, пониженном сроке службы других потребителей, подключенных к той же секции шин трансформатора;

- отсутствие возможности рекуперации энергии в сеть в тормозных режимах.

Основные цели работы: разработка модели существующей системы электропривода; дополнение модели системой активного фильтра гармоник [1] для исключения гармонических составляющих, вносимых мощным полупроводниковым преобразователем в питающую сеть; поиск и обоснование выбора алгоритма управления фильтром гармоник.

Для решения поставленных задач создана интерактивная модель в среде MatLab. На модели проведен ряд экспериментов. Проверены следующие показатели качества сети [2]: гармонические искажения, уровень реактивной мощности или коэффициент мощности сети. Получено, что коэффициент гармонических искажений (КГ) для фазных токов в исходной схеме составляет не менее 10 % в зависимости от режима. При использовании фильтра КГ не превышает 3 % для всех режимов. Коэффициент мощности с исходных 0,9 стремится в схеме с активным фильтром к 0,995.

В докладе показывается, что предложенная модернизация исходной схемы ТАИН-АД, заключающаяся в установке активного фильтра параллельно имеющейся схеме преобразователя, обеспечивает требуемые параметры качества питающей сети.

Литература

1. **Волков А.В., Волков В.А.** Компенсация мощности искажений и реактивной мощности посредством активного фильтра с прогнозируемым релейным управлением // Электротехника. 2008. № 3. С. 2—10.
2. **Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В.** Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 208 с.

Е.К. Самыгина, студ.; рук. А.П. Балковой, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ТРАНСЛЯТОР ВСТРОЕННОГО ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРЯМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Прямые электроприводы имеют большие преимущества перед приводами с кинематическими преобразователями. Наиболее важные из них — создание большой силы без потери скорости и точности. Развитие прямого электропривода происходит в направлении повышения КПД, в том числе за счет использования возможностей микропроцессорной техники, новых методов и алгоритмов прецизионного управления, адаптации и самонастройки.

В настоящее время на кафедре АЭП МЭИ ведутся разработки в области прямого электропривода: создаются образцы линейных и поворотных электрических машин, цифровых сервоусилителей на современной элементной базе. Они активно используются, например, ГУП НПО «Исток» в лазерных машинах. Предполагается также применять данные комплекты сервоусилителей в приводах подачи различных станков для металлообработки.

Эти сервоусилители сделаны на базе микроконтроллера TMS320F2812. В программное обеспечение (ПО) сервоусилителя входит транслятор языка программирования работы привода.

Ведущие мировые производители (Siemens, Yaskawa, Panasonic, ACS) поставляют в комплекте с сервоусилителями ПО для их настройки и программирования. В их состав входит транслятор языка программирования перемещений. Но, несмотря на общие принципы построения, использовать транслятор одной фирмы для программирования сервоусилителя другой невозможно из-за уникальности внутреннего ПО разных производителей.

Была поставлена задача — создать транслятор для разрабатываемого на кафедре АЭП сервопривода. При его создании учитывались такие факторы:

- работа под управлением ОС Windows;
- обеспечение работы пользователя с дружелюбным интерфейсом;
- запись программы в виде исполняемого кода, загружаемого в память контроллера через интерфейс RS-232 или память компьютера по команде пользователя для дальнейшей автономной работы привода.

Данный транслятор имеет интерфейс, схожий с существующими аналогами, и поддерживает все необходимые функции работы с программой работы привода.

Язык программирования включает в себя все необходимые для описания работы привода функции.

Ведется работа по усовершенствованию программного продукта.

А.Н. Татарников, С.Ю. Панина, А.Д. Сибрина, студенты;
рук. В.С. Осипов, к.т.н., доц. (СамГТУ, г. Самара)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТИРИСТОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В современных тиристорных электроприводах применяют последовательные корректирующие устройства по принципу компенсации больших постоянных времени, реализованные на операционных усилителях, которые называют регуляторами. Обычно это ПИ-регуляторы в двухконтурной системе подчиненного регулирования и ПИД-регуляторы в одноконтурных системах, которые имеют интегрирующее звено.

При сигнале задания, равного нулю, за счет интегрирующего звена напряжение на выходе может возрасть, двигатель разгонится, затем остановится за счет обратной связи — возникнут автоколебания.

Для устранения автоколебаний можно производить шунтирование цепи обратной связи регулятора полевым транзистором при нулевом задании, однако это создает дополнительную зону нечувствительности сигнала задания в реверсивных электроприводах за счет напряжения сравнения на входе компаратора, что нежелательно, например, в следящих системах с реверсивным электроприводом. Предлагается для устранения автоколебаний включить в ПИ-регулятор дополнительный резистор R_2 (рис. 1).

Передаточные функции ПИ-регулятора без R_2 и с R_2 имеют вид

$$W(p) = \frac{CR_3p + 1}{R_1Cp}; \quad W(p) = \frac{R_2(CR_3p + 1)}{R_1(C(R_2 + R_3)p + 1)}. \quad (1)$$

Экспериментальное исследование логарифмических амплитудных частотных характеристик обоих регуляторов показало, что в области средних частот они различаются не более чем на 3,0 дБ при условии, что постоянная времени $T = C(R_2 + R_3) > 32 \cdot CR_3$, а частотная характеристика регулятора без R_2 располагается в области положительного усиления. Коэффициент усиления с R_2 равен $k = R_2/R_1$. Экспериментальные переходные характеристики электропривода практически не отличаются друг от друга.

Таким образом, можно рассчитывать обычный ПИ-регулятор, а затем включать резистор R_2 в соответствии с приведенным условием.

Проведены аналогичные экспериментальные исследования ПИД-регулятора, а также варианты включения резистора R_2 параллельно конденсатору C . При анализе статических ошибок можно пренебречь помехой дрейфа нуля усилителя, а учесть только помеху нагрузки с учетом k .

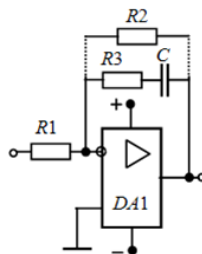


Рис. 1. Схема включения регулятора

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК IGBT, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МОЩНЫХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

В условиях внедрения современных энергосберегающих технологий, при требованиях высокоточных технологических процессов, IGBT-модули на сегодняшний день стали неотъемлемой частью регулируемого электропривода, без которой невозможно получить столь же высокие показатели работы приводов для множества задач [1]. Данные устройства постоянно совершенствуются, при этом меняются их внешний вид, структура, растут максимальные показатели токов и напряжений, при том что размер корпусов уменьшается [2]. Это делает такие задачи, как отвод тепла от кристаллов, расчет потерь в ключе, разработка соединительных шин все более сложными для конструкторов. Поэтому данные высокотехнологичные устройства нуждаются в постоянном изучении.

Для решения проблемы испытания IGBT-модулей широкого диапазона мощностей, возникающей при проектировании и эксплуатации преобразователей на основе полупроводниковых ключей данного типа, были проанализированы основные причины выхода модулей из строя, что позволило определить требования к будущему стенду. Была разработана функциональная схема, учитывающая вертикальное последовательное соединение модулей стойкой, как это реализовано в ПЧ [1], осуществлены расчет и выбор всех базовых компонентов стенда, отвечающих поставленной задаче.

В итоге был построен лабораторный стенд, позволяющий проводить исследования динамических характеристик IGBT-модулей широкого класса токов и напряжений. В подтверждение работоспособности стенда были испытаны модули PM1200HCE330, рассчитанные на ток 2400 А и напряжение 3300 В. В ходе испытаний были получены все основные энергетические показатели во время коммутации ключей, позволяющие дать оценку как статических, так и динамических потерь [3].

Использование данного стенда позволяет подобрать IGBT-модули с соответствующими параметрами по току, напряжению, надлежащими изоляционными свойствами, провести точный тепловой расчет для выбора радиатора.

Литература

1. **Остриров В.Н.** Проектирование электронных преобразователей для регулируемых электроприводов. М.: Издательство МЭИ, 2008.
2. **Воронин П.А.** Силовые полупроводниковые ключи. 2-е изд. М.: Додэка-XXI, 2005.
3. **Кублановский Я.С.** Переходные процессы. М.: Энергия, 1974.

О.А. Трефилова, асп. (НГТУ им. Р.Е. Алексеева); рук. О.В. Крюков, к.т.н., доц., гл. спец. (ОАО «Гипрогазцентр», г. Н.Новгород)

ВЗАИМОСВЯЗАННАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ СТАНКА С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Как правило, станки, имеющие два электропривода, управляются по программам, разработанным индивидуально для каждого из них [1, 2]. Однако подобное построение систем программного управления затрудняет обеспечение высокой точности обработки при высокой производительности станка.

Разработана система управления приводами станка, в которой обеспечивается их взаимосвязанное управление за счет коррекции программ управления каждого привода в процессе работы по результатам измерения перемещения и ошибок обработки программ каждого из индивидуальных электроприводов.

В результате ошибок каждого из приводов формируется суммарное отклонение воспроизведения контура, и составляющие ошибки вводятся в соответствующие системы управления приводов в качестве коррекции задающей программы. Введение данных обратных связей приводит к формированию взаимосвязанной системы в составе двух приводов, что существенно усложняет анализ процессов, происходящих в ней. При этом на качество работы такой системы оказывают влияние вариации параметров каждого из электроприводов, а также способы формирования сигналов коррекции программ.

Проведены расчеты контуров и оптимизированы структуры систем автоматического регулирования, разработана имитационная модель системы программного управления взаимосвязанными электроприводами станков для компьютерного моделирования.

Результаты моделирования систем в среде MatLab Simulink показывают, что использование разработанной системы управления позволяет повысить точность станков на несколько порядков при сохранении высокой скорости обработки.

Литература

1. **Микропроцессорное** управление электроприводами станков с ЧПУ / Э.Л. Тихомиров, В.В. Васильев, Б.Г. Коровин, В.А. Яковлев. — М.: Машиностроение, 1990. — 200 с.

2. **Чернов Е.А., Кузьмин В.П., Синичкин С.Г.** Электроприводы подачи станков с ЧПУ. — М.: Энергия, 1986. — 271 с.

А.С. Ушков, асп.; рук. А.Р. Колганов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

УМЕНЬШЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ТОКА ДРОССЕЛЯ КОРРЕКТОРА КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ШИМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СЕМЕЙСТВА C2000 ФИРМЫ TEXAS INSTRUMENTS

На современном этапе развития науки и техники системы электропривода прочно заняли лидирующее положение среди приводных устройств, при этом в качестве приводного двигателя наибольшее распространение находит асинхронный двигатель (АД).

В качестве управляющего устройства для АД обычно применяется двухзвенный преобразователь частоты (ПЧ). Маломощные АД (до 1 кВт) обычно имеют маленький коэффициент мощности (КМ) ($\cos\varphi$ обычно не более 0.7). Также негативное влияние вносит неуправляемый выпрямитель, который не только снижает КМ, но и ухудшает гармонический состав потребляемого из сети тока.

Одним из самых простых, надежных и эффективных решений является применение корректора коэффициента мощности (ККМ) в составе ПЧ. Система управления ККМ должна обеспечивать управление ключевым элементом в соответствии с некоторым законом управления. При этом, поскольку индуктивность мала, управление ключевым элементом осуществляется на достаточно высоких частотах — 150 кГц и выше. Стандартные модули ШИМ цифровых сигнальных контроллеров семейства C2000 обычно построены на базе 16-битных таймеров-счетчиков и на таких частотах не могут достаточно точно обеспечить длительность цикла включения, что непосредственно ведет к увеличению пульсаций в форме тока дросселя.

Уменьшить пульсации тока можно за счет более точной установки длительности цикла. Это предлагается сделать с помощью модуля высокоточного ШИМ (hrPWM), который присутствует во многих представителях микроконтроллеров семейства C2000. Принцип работы модуля hrPWM основан на применении MEP (micro edge positioner) технологии, которая позволяет разбивать один такт системной частоты микроконтроллера на микрошаги, благодаря чему удается более точно устанавливать длительность периода включения ШИМ. MEP-технология позволяет добиться микрошага порядка 150 пс 20F28335 (частота системной шины 100 МГц, MEP step size 180 ps).

СТРУКТУРА ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ПРИМЕНЯЯ ДЛЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ

Классические методы проверки двигателей по нагреву не меняются уже долгие годы, и даже десятилетия. Они построены на базе примитивной одномассовой тепловой модели двигателя [1]. В наши дни эта модель не может применяться, так как она рассчитана на неизменное соотношение потерь в статоре и роторе. Поэтому была предложена двухмассовая тепловая модель асинхронного двигателя (рис. 1), пригодная для численного моделирования тепловых процессов при частотном управлении. Данная модель учитывает процесс отдельного нагрева ротора и статора, что позволяет строить защиту не только статорных, но и роторных цепей.

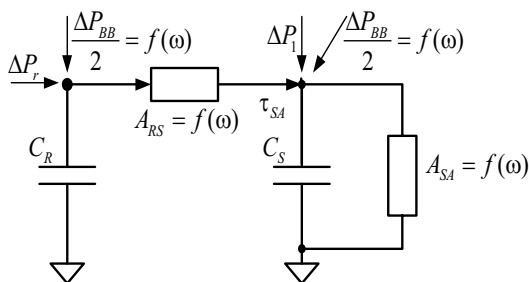


Рис. 1. Двухмассовая тепловая модель АД

Предлагается использовать современные возможности компьютерной техники для симуляции электрических и тепловых процессов в электроприводе с помощью аппарата обобщенной электрической машины и двухмассовой тепловой модели. Такой подход позволяет без ограничений рассматривать тепловые режимы электродвигателя независимо от способа регулирования, типа нагрузки и времени цикла механизма. В отличие от методов эквивалентных величин, предложенный способ обеспечивает оценку использования двигателя на производственных циклах любой протяженности, так как оперирует не средними, а мгновенными значениями.

Литература

1. Ильинский Н.Ф. Основы электропривода. — М.: Издательство МЭИ, 2007. — 224 с.

*М.М. Хабибуллин, асп.; рук. В.Н. Мещеряков, д.т.н., проф.
(ЛГТУ, г. Липецк)*

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАФЭ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В настоящее время наибольшая доля нагрузки является нелинейной, и высокий уровень гармоник в низковольтных распределительных сетях становится предметом серьезного беспокойства. Последние достижения в области силовой электроники позволяют решать эту проблему методами активного управления реактивной мощностью с помощью активных фильтров электроэнергии (АФЭ). Существующие АФЭ имеют высокую стоимость технической реализации и сложную систему управления. Актуальной является разработка высокоэффективных и надежных систем управления АФЭ [1], отличающихся простотой реализации и низкой стоимостью. Проведен анализ работы параллельного АФЭ (ПАФЭ) для неуправляемого трехфазного мостового выпрямителя (НВ), работающего на активно-индуктивную нагрузку: суммарное гармоническое искажение (THD) составляет 37,66 %.

Для устранения гармонических искажений предлагается использовать ПАФЭ с новым методом получения «желаемого» тока и формированием управляющих импульсов для ПАФЭ на основе релейного регулирования.

Принцип работы предложенной системы управления ПАФЭ заключается в компенсации активным фильтром разницы между мгновенными значениями «идеального» и реального токов нагрузки. В результате на выходе релейного регулятора тока формируются сигналы управления автономным инвертором напряжения (АИН), которые формируют на его выходе мгновенные значения тока ПАФЭ, компенсирующие несинусоидальность тока нагрузки.

Из результатов исследования гармонического анализа тока, потребляемого системой НВ — ПАФЭ, следует, что уровень суммарных гармонических искажений составляет 0,97 %, что соответствует требованиям ГОСТ 13109-97.

Разработанная концепция системы управления ПАФЭ позволяет добиться качественной компенсации гармонических составляющих тока и реактивной мощности нагрузки, что приводит к существенному улучшению электромагнитной совместимости нелинейного потребителя с питающей сетью.

Литература

1. Мещеряков В. Н., Коваль А. А. Активные фильтро-компенсирующие устройства для систем регулируемого электропривода постоянного тока. Липецк: Издательство ЛГТУ, 2008.

М.А. Чикин, асп.; рук. О.И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТА С УПРАВЛЯЕМЫМ ВЫБЕГОМ

Безопасность работы атомных реакторов обуславливает необходимость применения электроприводов центральных насосных агрегатов (ЦНА) с управляемым выбегом при аварийных ситуациях.

Предлагается электропривод ЦНА в составе асинхронного короткозамкнутого двигателя вертикального исполнения, преобразователя частоты для его питания, согласующего трансформатора, электромеханического накопителя энергии для питания двигателей и обеспечения их управляемого выбега при отключениях источников сетевого питания.

Система обеспечения выбега включает в себя:

- электромеханический накопитель энергии маховичного типа, который при авариях выполнит роль источника питания, обеспечивающего необходимую энергию на режим контролируемого выбега;
- систему управления асинхронным частотно-регулируемым приводом разгона и стабилизации частоты вращения маховика;
- специальный генератор с управляемым возбуждением с питанием как от промышленной сети, так и от источника бесперебойного питания, позволяющий синхронизировать выходное напряжение по амплитуде, фазе и частоте с питающей сетью.

При нормальной работе ЦНА генератор используется как источник реактивной мощности, а в аварийном режиме — как источник питания.

Для надежности системы привода ЦНА применяется коммутационная аппаратура с резервированием питания силовых элементов и системы управления электроприводом. Предусмотрены варианты аварийного управляемого по времени выбега как с использованием преобразователя частоты, так и без него.

Авторами доклада проведены и представлены следующие разработки:

- обоснование элементов силовой части электропривода;
- схемы электрических соединений системы управления частотой вращения двух ЦНА с учетом резервирования при отказах одного преобразователя частоты и системы обеспечения выбега;
- алгоритмы автоматики и защиты комплекса оборудования системы частотного управления ЦНА.

*Н.Ю. Шевырева, студ.; рук. В.Н. Фащиленко, д.т.н., проф.
(МГТУ, Москва)*

ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Во многих случаях существующие системы электроснабжения по своим параметрам и передаваемой мощности не соответствуют тем требованиям, выполнение которых необходимо для нормальной работы буровых установок (БУ) при бурении на нефть и газ. Поэтому в состав электротехнических комплексов (ЭТК) буровых установок с тиристорным электроприводом постоянного тока обязательно должно входить фильтро-компенсирующее устройство (ФКУ). Одно из преимуществ частотно-регулируемого электропривода заключается в возможности поддержания на вводе буровой установки коэффициента мощности, близкого к 1. Отсюда можно сделать вывод, что применение частотно-регулируемого электропривода позволяет обойтись без ФКУ. Однако при существующих длинах 10—12 км питающих линий 6 кВ, для обеспечения требуемого отклонения напряжения при большой активной мощности электроприводов необходимо включение ФКУ. Кроме того, для получения нормативного коэффициента искажения синусоидальной формы напряжения также следует применять ФКУ. Для подтверждения сказанного были выполнены расчеты показателей качества электроэнергии при работе ЭТК БУ с электроприводом переменного тока. Для выполнения расчетов использовалась модель электропривода буровой установки с частотно-регулируемым электроприводом, разработанная в системе SimPowerSystems пакета MatLab. Анализ полученных зависимостей показал, что при длине питающей линии 10—12 км отклонение напряжения на вводе буровой установки при работе частотно-регулируемого электропривода превышает предельно допустимое значение 10 %. Коэффициент искажения синусоидальной формы напряжения сети также превышает предельно допустимое значение 10 %. Следовательно, для обеспечения работоспособности БУ с частотно-регулируемым электроприводом переменного тока при питании от существующих маломощных линий 6 кВ необходима установка ФКУ. Перспективным направлением повышения качества электроэнергии является применение в составе частотно-регулируемого электропривода БУ активно-го выпрямителя [1].

Литература

1. **Искажение** формы питающего напряжения в сетях электроснабжения при наличии полупроводниковых преобразователей / А.Е. Козярук, Н.М. Кузнецов, О.В. Федоров, А.О. Свириденко // Горное оборудование и электромеханика, 2011. № 6.

*К.С. Шишков, асп.; В.Е. Русаков, студ.; рук. В.Ф. Глазунов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МЕХАНИЗМА УПЛОТНЯЮЩЕГО ВАЛА СНОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

Главной функцией сновального оборудования в текстильной промышленности является намотка идентичных по технологическим характеристикам паковок (длина основы, радиус и объемная плотность намотки), что позволяет исключить появление гофр и угаров пряжи в процессе последующей технологической операции шлихтования. Большая роль в реализации этих требований принадлежит системе управления взаимосвязанными электроприводами механизмов сновального и уплотняющего валов, обеспечивающей стабилизацию натяжения основы, линейной скорости снования и регулирование давления уплотняющего вала на намотку.

Математическая модель процесса наматывания сновальных валов может быть построена на базе спирали Архимеда с линейной скоростью изменения параметра спирали, формирование которой обеспечивается асинхронным электроприводом механизма сновального вала и электроприводом механизма уплотняющего вала.

Алгоритм управления процессом намотки и движением уплотняющего вала строится в функции тока приводного асинхронного электродвигателя механизма сновального вала, длины наматываемой основы и рассогласования теоретического и фактического радиусов намотки. Если измеренная длина основы или ток двигателя сновального вала оказываются меньше заданных уставок, тогда отвод уплотняющего вала от намотки и, соответственно, время его включения определяются рассогласованием радиусов намотки, вычисляемым через определенное количество оборотов сновального вала. При неподвижном уплотняющем вале ток нагрузки возрастает до величины тока уставки, тогда его отвод от намотки происходит дискретно в соответствии с величиной рассогласования теоретического и фактического радиусов сновального вала, причем если в течение нескольких циклов расчета подряд ток не снижается, то система управления формирует сигнал для непрерывного отвода уплотняющего вала до момента, пока ток двигателя сновального вала не уменьшится до нижнего предела токовой уставки.

Указанный алгоритм управления движением уплотняющего вала позволяет повысить точность идентификации параметров формируемых сновальных валов и исключает при этом любую возможность перегрузки приводного асинхронного электродвигателя сновального вала.

Е.А. Юфкин, студ.; рук. М.Г. Бычков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДВЕСА КАБИНЫ ЦЕНТРИФУГИ ЦФ-7

В настоящее время кабина центрифуги ЦФ-7 имеет свободный подвес по горизонтальной оси вращения. Наличие в конструкции кабины специально предусмотренного дисбаланса (массы, сосредоточенной в полу кабины) приводит к тому, что при вращении центрифуги кабина отклоняется от вертикального положения на угол, определяемый соотношением создаваемой перегрузки $a_{\text{ц}}$ и ускорения свободного падения g . Этот угол возрастает по мере разгона главного привода центрифуги и при значительных перегрузках приближается к 90° .

При свободном подвесе кабины направление суммарной силы, действующей на испытуемого человека (или оборудование), постоянно по отношению к кабине — это направление «голова-таз». Для проведения испытаний с изменяемым вектором перегрузки между направлениями «голова-таз» и «грудь-спина» предлагается оснастить кабину безредукторным электроприводом ее поворота относительно положения при свободном подвесе.

Из анализа возможных циклограмм работы центрифуги получены нагрузочные диаграммы и произведен выбор моментного электродвигателя и силового электрического преобразователя частоты (ПЧ). Разрабатывается система управления положением подвеса кабины (СУПП), основная задача которой — изменение положения кабины ЦФ в заданном диапазоне углов в условиях воздействия перегрузки. Диапазон углов положения подвеса задается автоматически, в зависимости от заданной перегрузки.

Рассматриваются различные варианты аппаратно-программной реализации СУПП: с применением специальной платы позиционирования в ПЧ, с реализацией контура регулирования положения в программируемом логическом контроллере (ПЛК), с использованием абсолютного или инкрементального датчика угла поворота. Основная задача ПЛК — формировать требуемое задание угла поворота кабины в соответствии с выбранной программой испытаний и циклограммой работы главного привода. Предусматривается два режима управления: ручной и автоматический. Выбор и задание требуемых значений осуществляются с помощью диалоговой панели оператора.

На этапе технического проекта будет разработано и отлажено на компьютерной модели программное обеспечение системы позиционирования, разработан графический интерфейс для операторской панели, произведено конфигурирование ПЧ.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Председатель секции — д.т.н., профессор В.П. Рубцов
Секретарь секции — ассистент К.А. Елизаров

Е.С. Алферова, студ.; рук. М.А. Федин, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО МОСТОВОГО ИНВЕРТОРА НА ДВУХ ТРАНЗИСТОРАХ ДЛЯ ПИТАНИЯ УСТАНОВКИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ

Индукционные установки повышенной частоты применяются во многих областях обработки металлов: в печах для плавки металлов, в установках для нагрева под горячую обработку и т.д. Для работы в зоне повышенных частот необходимо специальное электрооборудование.

Для питания установок индукционной плавки небольшой мощности, например для плавки драгоценных металлов, используют однофазные транзисторные преобразователи частоты (ПЧ).

Существуют различные схемы ПЧ. Одной из наиболее широко используемых схем является полумостовая. Рассмотрим принцип работы такой схемы [1] (рис. 1): установка подключена к сети и конденсаторы $C1$ и $C2$ заряжены каждый до напряжения примерно $0,5U_d$ (напряжение на выходе выпрямителя). Если с модуля управления (А1) поступает сигнал на открытие транзистора $VT1$, то конденсатор $C1$ начинает разряжаться по контуру: $C1$; коллектор-эмиттер $VT1$; нагрузка EK ; $C1$. Конденсатор $C2$ в это время заряжается. Если сигнал на открытие поступил на транзистор $VT2$, то в данном случае разряжается конденсатор $C2$ по контуру: $C2$; коллектор-эмиттер $VT2$; нагрузка EK ; $C2$. Конденсатор $C1$ в это время заряжается.

С помощью анализа имитационной модели ПЧ (рис. 2) в программе *Matlab/Simulink* предполагается достижение следующих целей: учебная; разработка источника питания и согласование источника питания с нагрузкой. Так, для установки ИТП для плавки серебра емкостью 1 кг, с использованием полученной модели были найдены значения электрических и энергетических параметров нагрузки: $U_2 = 70$ В, $I_2 = 280$ А, $\cos\varphi = 0,08$, что также соответствует расчетам в *Elcut*.

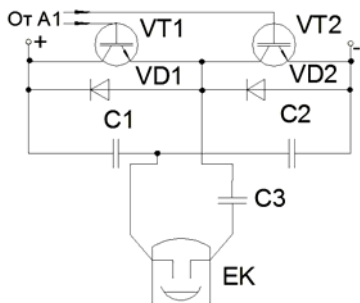


Рис. 1. Схема однофазного мостового ПЧ

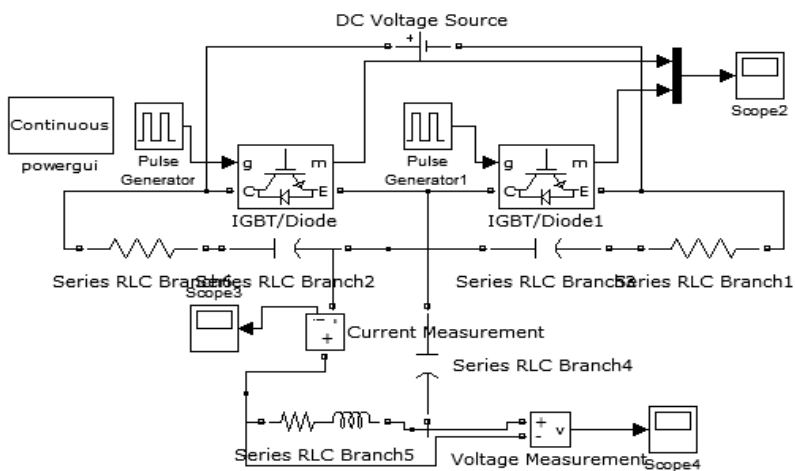


Рис. 2. Имитационная модель ПЧ в Simulink

Литература

1. Магазинник Г.Г., Магазинник Л.Т. Патент РФ на изобретение № 2219648, 2002.

*В.Р. Альмишев, С.И. Семенов, аспиранты;
рук. А.И. Данилушкин, д.т.н. (СамГТУ, г. Самара)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПРИ НЕПРЕРЫВНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЗАКАЛКЕ ДОРОЖКИ ВНУТРЕННЕГО КОЛЬЦА КРУПНОГАБАРИТНОГО ПОДШИПНИКА

Исследуется процесс индукционного нагрева дорожки внутреннего кольца подшипника в процессе закалки. Процесс закалки с индукционным нагревом осуществляется непрерывно-последовательным способом на специальном стенде с горизонтальным расположением кольца подшипника при непрерывном вращении его относительно индуктора с помощью системы электропривода. В процессе вращения поверхность кольца нагревается до заданной температуры, после чего охлаждается с помощью спрейерного устройства. Одновременный процесс нагрева и закалки всей дорожки на практике нереализуем из-за больших габаритов кольца, сложности конструктивного исполнения индуктора и устройства охлаждения. Основными проблемами, возникающими при реализации системы индукционного нагрева, являются выбор частоты и конструкции индуктора, обеспечивающего необходимое температурное распределение по радиусу кольца подшипника на глубину закалки.

В работе проводится численное моделирование электромагнитных и тепловых полей, обосновывается выбор частоты и конструкции индуктора.

Математическая модель электромагнитных процессов в устройствах индукционного нагрева при непрерывном нагреве закаливаемой поверхности секторным индуктором сформулирована с учетом следующих общепринятых допущений: пространственная конфигурация системы позволяет ограничиться рассмотрением двумерной осесимметричной области, где индукция \vec{B} и напряженность \vec{H} магнитного поля имеют две составляющие; поле принимается квазистационарным; не учитываются потери на гистерезис в силу их незначительности по сравнению с потерями от вихревых токов. Для решения тепловой задачи используется двумерная модель процесса теплопроводности с внутренними источниками тепла, распределенными вдоль нагреваемой зоны нелинейно. Нелинейный характер распределения источников обусловлен зависимостью от температуры. В граничных условиях отражены три вида теплообмена: конвективный, передача тепла теплопроводностью и излучением.

*Я.В. Аминев, А.С. Бажуткин, В.А. Голышев, аспиранты;
рук. А.А. Базаров, д.т.н. (СамГТУ, г. Самара)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ

В данной работе рассматривается применение индукционных установок для поверхностной закалки крупногабаритных шестерен. Нагрев происходит за счет джоулева тепла, которое выделяется в поверхностных слоях зубцов в результате протекания в них токов высокой частоты. Глубина закаливаемого слоя зависит от выбранной частоты тока, а также от условий охлаждения. В рассматриваемой задаче поверхностная закалка производится на частоте 66 кГц. Нагрев осуществляется по каждому зубцу в отдельности. Индуктор устанавливается вдоль поверхности зубца, затем зубец центрируется относительно индуктора, воздушный зазор между индуктором и зубом составляет 2 мм. Нагрев осуществляется до температуры 820—840 °С до основания зубца, выдержка 2—3 с и затем производится охлаждение водой с помощью спрейера. Время закалки составляет 1 ч. Применение индукционных установок для поверхностной закалки является экономически выгодным по сравнению с другими способами закалки, обеспечивает более высокое качество изделия.

Цель исследования процессов нагрева и охлаждения — выявление краевых эффектов вдоль поверхности зубца в вертикальном и горизонтальном направлениях. Проектирование индуктора, обеспечивающего требуемое распределение температуры на этапах нагрева и охлаждения, подчинено общей задаче достижения минимума энергозатрат. При этом отклонение температуры от заданной функции контролируется на всем протяжении процесса закалки и представлено в виде ограничения. Особенностью задачи является изначальная неопределенность требуемой функции распределения мощности в пределах нагреваемой зоны в течение всего процесса. С учетом трудностей изготовления индуктора со сложным профилем круг рассматриваемых форм индуктора несколько сужается. Тем не менее трехмерная постановка нелинейной электромагнитной задачи в связке с задачей нестационарной теплопроводности требует серьезных вычислительных затрат.

Алгоритм вычислительного процесса разработан на базе программы Comsol, позволяющей эффективно решать мультифизические задачи в нелинейной постановке. Процедура поиска оптимального варианта осуществляется вне данного программного комплекса.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Устройства индукционного нагрева (ИН) применяются практически во всех отраслях промышленности. Многообразие технологических процессов и конструкций приводит к разнообразию математических моделей. Это разнообразие обусловило необходимость систематизации моделей. В данной работе систематизация проведена с точки зрения методов построения модели. Индукционный нагрев — это два связанных процесса: индуцирование токов в нагреваемом теле и изменение температуры в нем. Поэтому при проектировании ИН необходимо решать электротепловую задачу или две отдельные задачи: электромагнитную и теплопроводности. Выбор вида модели — аналитический (А), численный (Ч) или алгоритмический (Алг): определяется сложностью объекта. Как правило, решаются еще и задачи оптимизации. Оптимизируют режим или конструкцию ИН. При использовании ИН в нетрадиционных технологиях необходимо решать дополнительные задачи: гидродинамические, виброакустические и др. Исследования проведены в диссертационных работах, защищенных на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» СамГТУ за последние 30 лет. Результат исследования представлен в таблице.

	Эл.магнитная	Тепловая	Оптимизация	Специальная
Термоциклические испытания	Ч	А	Нет	Ч
Пайка многослойных изделий	Ч	А	Ч	Ч
Нагрев жидкостей	Ч	Ч	А	А
Вибростойкость индуктора	А	Нет	Ч	Ч
Взрыватели, периодический нагрев	ч	ч	ч	
Полистирол, литье под давлением	Ч	Ч		
Разборка составных изделий	Ч	Ч		Ч
Выплавка тротила	Ч	Ч	Ч	
Подшипниковые кольца	Ч	А	А	Ч
Алюминиевые слябы	Ч	Алг		

Менее 30 % рассмотренных задач решены аналитическими методами. Это объясняется сложностью решаемых задач и наличием достаточного количества профессиональных программ, реализующих численные методы. Результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о вероятной предпочтительности поиска наиболее подходящей программы по сравнению с построением аналитической модели. В связи с этим дальнейшие исследования будут направлены на сравнительный анализ программ моделирования тепловых и электромагнитных полей.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ

Рассматривается задача достижения максимальной энергоэффективности технологических комплексов «индукционная нагревательная установка (ИНУ) — обработка металла давлением (ОМД)». Традиционный путь решения такой задачи состоит в решении локальных задач оптимизации отдельно для нагревательной установки и деформирующего оборудования в жестких рамках заданных технологических инструкций, формируемых за пределами этих задач. Качественно более широкие возможности появляются при системном подходе, преследующем достижение предельных значений совокупного показателя работы комплекса в целом, в условиях максимального числа степеней свободы для выбора параметров индуктора и управляющих воздействий. Системный подход к оптимальному проектированию при индукционном нагреве позволяет по новому увидеть объект проектирования: основной фактор, органически связывающий обе стадии обработки металла в единый технологический комплекс, — температурные кондиции металла — заранее не фиксируются, а находятся исходя из достижения экстремума совокупного экономического показателя.

Основная трудность в формировании критерия оптимизации обусловлена желанием иметь единственный обобщенный показатель, который отражал бы многочисленные частные аспекты. В качестве такого показателя целесообразно использовать приведенный доход при функционировании всего комплекса «ИНУ-ОМД» в целом. Показано, что параметры индуктора, получаемые по этому критерию, одновременно являются оптимальными по расходу электроэнергии. Определяющая роль температурного фактора позволяет описать комплекс «ИНУ-ОМД» поведением температурного поля обрабатываемого металла на соответствующих стадиях технологического процесса. Отсюда вытекает возможность представления этого комплекса в виде ступенчатой системы, состоящей из трех объектов с последовательными во времени режимами их работы, где модель каждого из объектов представляется соответствующим уравнением нестационарной теплопроводности. В общем случае это уравнение Фурье—Кирхгофа, отражающее на первой стадии нагрев металла в индукторе, на второй — его охлаждение при транспортировании к деформирующему оборудованию и на третьей — температурное поле в процессе ОМД. Время цикла или темп выдачи готовой продукции (полуфабриката) определяется в установившемся режиме работы комплекса максимальным временем обработки металла в одном из активных его элементов (ИНУ или ОМД), что полностью соответствует концепции «узкого места» при системном подходе.

П.А. Баскаков, асп.; рук. А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ БОЕПРИПАСОВ

В настоящее время на базах и арсеналах Министерства обороны накоплены большие запасы боеприпасов с истекшим сроком хранения, а также сокращаемых и запрещенных видов боеприпасов. В целях снижения затрат на хранение и риска возникновения чрезвычайных ситуаций назрела необходимость в разработке безопасной и эффективной технологии уничтожения боеприпасов.

Технология уничтожения заключается в нагреве боеприпаса до температур порядка 400—450 °С в герметичной камере с последующим подрывом. Основным устройством при уничтожении является индукционно-резистивный нагреватель, который отличается высокими энергетическими характеристиками [1]. Нагреватель представляет собой цилиндрический индуктор, внутри которого размещена толстостенная стальная труба — локализатор. Нагрев боеприпаса осуществляется за счет теплопередачи от внутренних стенок локализатора, который одновременно является тепловыделяющим элементом и защищает индуктор при взрыве.

Численное моделирование процесса нагрева осуществлялось с помощью пакета *ELCUT* [2]. Использование данного метода позволяет учесть нелинейную зависимость электро- и теплофизических параметров индуктора и локализатора от температуры. Для определения электрических и энергетических характеристик индукционной системы и выбора геометрических параметров индуктора производился расчет электромагнитного и теплового полей на базе метода конечных элементов. Была получена картина распределения электромагнитных и тепловых полей в нагрузке в «холодном» и «горячем» режимах работы нагревателя в зависимости от времени. Полученные данные позволяют оценить время и скорость нагрева.

Для обеспечения заданных параметров нагрева было рассмотрено несколько конструкций нагревателей с различными размерами, варьируя которыми можно добиться увеличения эффективности нагрева, а следовательно, увеличения производительности установки для уничтожения боеприпасов.

Литература

1. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали. М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Черных И. В. Моделирование устройств индукционного нагрева с помощью пакета Elcut // Exponenta Pro. — 2003. № 2.

В.В. Битков, студ.; рук-ли А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф.;
М.А. Федин, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ЗАГРУЗКИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Индукционный нагрев широко используется для плавки металлов. На кафедре ФЭМАЭК НИУ «МЭИ» создана лабораторная установка для плавки на основе индукционной тигельной печи емкостью 1 кг как физическая модель индукционного тигельного миксера, параметры которого зависят также от высоты расплава. Теоретические исследования аналогичной модели были проведены в [1]. В качестве источника питания используется транзисторный преобразователь частоты с установленной мощностью 2,5 кВт и выходной частотой около 22 кГц. КПД преобразователя составляет не менее 0,9.

Система управления данной установки основана на расчете энергетического баланса, т.е. на косвенном измерении температуры расплава. Исходными данными являются: начальная температура, теплоемкость и масса загрузки. Применяв алгоритм, можно вычислить температуру загрузки в любой момент времени по формуле

$$t(\tau) = \frac{1}{c} \int_{\tau} \frac{P(\tau) - P_1(\tau) - P_h(\tau)}{m(\tau)} \cdot d\tau, \quad (1)$$

где $P(\tau)$ — мощность, потребляемая установкой; $P_1(\tau)$ — потери в индукторе; $P_h(\tau)$ — суммарные тепловые потери; c — теплоемкость материала загрузки; $m(\tau)$ — масса загрузки; $d\tau$ — элементарный промежуток времени; dt — элементарное изменение температуры за время $d\tau$.

Результатами исследования будут разработка системы автоматического управления по косвенным параметрам для лабораторной установки индукционной тигельной печи и проверка адекватности теоретической модели [2].

Литература

1. **Федин М.А.** Разработка системы управления температурой расплава в индукционных тигельных миксерах по косвенным параметрам // Вестник МЭИ. 2009. № 5. С. 54—59.
2. **Устройство** для управления индукционным тигельным миксером: Патент на полезную модель №75129 / А.Б. Кувалдин, М.Я. Погребисский, М.А. Федин. // БИ №20. 2008.

*И.В. Васильев, Е.П. Домерт, А.П. Макаров, студенты;
рук. А.И. Данилушкин, д.т.н., проф. (СамГТУ, г. Самара)*

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Для исследования динамических свойств объекта и переходных режимов в замкнутых системах автоматического управления индукционными нагревателями создан лабораторный стенд, включающий индукционный нагреватель с регулируемым источником питания, регулятор температурного режима с блоком управления на базе восьмиканального регулятора — измерителя температуры ТРМ-138, термопары, устанавливаемые в различных точках нагреваемого изделия. Динамические свойства объекта управления исследуются с помощью переходных характеристик, снятых экспериментально на стенде. Экспериментальный метод определения динамических характеристик объекта заключается в снятии переходной функции и аппроксимации ее решением дифференциального уравнения первого или второго порядка с постоянными коэффициентами и нулевыми начальными условиями.

Экспериментальная переходная функция объекта снимается путем подачи ступенчатого сигнала на вход разомкнутой системы. Исходное состояние системы определяется каким-либо установившимся режимом работы объекта. По графику переходной функции объекта управления определяется вид передаточной функции. Для определения параметров передаточной функции: коэффициента передачи K , постоянной времени T , запаздывания τ — используются численные методы поиска минимума некоторой функции, соответствующей наиболее точному определению искомых значений. Минимум отклонения искомой функции от переходной характеристики находится по методу наименьших квадратов. При использовании численных методов используется другой вид аппроксимации — по минимуму абсолютного отклонения ошибки приближения к искомой функции. Для поиска аппроксимирующей функции применяется программа Mathcad. Качество аппроксимации оценивается визуально. На основе полученной передаточной функции объекта синтезируется замкнутая система автоматического управления. Производится расчет коэффициентов передачи регулятора, параметров корректирующего контура, и выполняется анализ динамических характеристик замкнутой системы. По результатам анализа осуществляется коррекция полученных расчетным путем коэффициентов и постоянных времени замкнутой системы.

С.А. Васильев, асп.; рук. А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ С ХОЛОДНЫМ ТИГЛЕМ

Применение трехмерного моделирования позволяет существенно сократить затраты на исследование параметров индукционных печей с холодным тиглем (ИПХТ) по сравнению с физическим экспериментом.

Разработана упрощенная трехмерная модель ИПХТ в программном пакете *ANSYS*, состоящая из индуктора (И), холодного тигля (ХТ), загрузки (З) и непроводящих расчетных областей (РО) (рис. 1). Возможности модели позволяют изменять электрические и геометрические параметры исследуемой печи (число секций, материал, толщину стенки, наличие и параметры вертикальных разрезов на наружных поверхностях секций и др.). Расчет в *ANSYS* осуществляется путем запуска файла со всеми параметрами исследуемой печи, который формируется в специально разработанной подпрограмме, что сводит участие пользователя в моделировании к минимуму.

С помощью модели были проведены исследования влияния параметров ХТ на энергетические характеристики ИПХТ. Рассматривался ХТ диаметром 100 мм как с разрезными, так и с неразрезными секциями. Результаты расчетов сравнивались с данными физических экспериментов. Расхождение результатов не превысило 10—15 %.

Разработана методика электрического расчета ИПХТ, представляющая собой комбинацию существующей методики [1] и трехмерной модели, что позволяет учитывать любую конфигурацию ХТ. Методика была опробована на примере серийной печи ИАТ-0,4, дополненной защитным экраном (ЗЭ).

Такой ЗЭ работает в гораздо менее тяжелых условиях, чем ХТ, и выполняет другую функцию (защита индуктора от прохода расплава через керамический тигель). Однако конструкция и процессы наведения вихревых токов в них аналогичны. Получено хорошее соответствие результатов физического и математического моделирования.

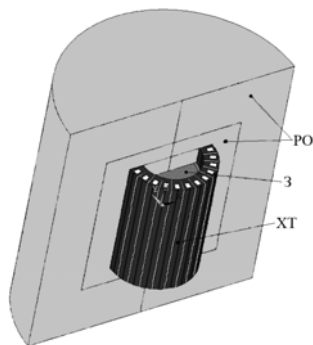


Рис. 1. Упрощённая трёхмерная модель ИПХТ (индуктор не показан)

Литература

1. Тир Л.Л., Губченко А.П. Индукционные плавильные печи для процессов повышенной точности и чистоты. М.: Энергоатомиздат, 1988. — 120 с.

УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СОГЛАСУЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В настоящее время в практике термообработки и в прогнозах развития на ближайшее время все большее место отводится индукционному виду нагрева благодаря ряду его неоспоримых преимуществ. Среди них можно отметить бесконтактную передачу тепла от индуктора, служащего для концентрирования переменного электромагнитного поля, к изделию [1].

Широкое применение индукционного нагрева требует новых методов проектирования специальной высокочастотной аппаратуры. К такой аппаратуре относятся прежде всего индукторы. Для проектирования и выбора высокочастотных источников питания, трансформаторов, конденсаторов необходимо знать ток, напряжение и коэффициент мощности индуктора [2], которые определяют путем решения систем дифференциальных уравнений.

Для анализа электромагнитных процессов в высокочастотных источниках питания с учетом применяемых ферромагнитных модулей (высокочастотные согласующие трансформаторы, дроссели, индукторы) рационально использовать моделирование в пакете MatLab [3]. Один из результатов моделирования в виде кривой тока в нагрузке представлен на рис. 1.

В выпускаемых источниках питания для индукционного нагрева практически не применяются схемы с последовательной компенсацией реактивной мощности индуктора (резонанс напряжений). Для расширения применения резонанса напряжений в цепи нагрузки предложено использовать высокочастотные согласующие трансформаторы. Применение последовательного способа компенсации реактивной мощности индуктора позволяет значительно упростить силовую схему источников питания для индукционного нагрева и повысить их энергетические показатели.

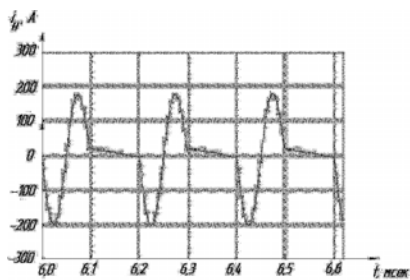


Рис. 1. Кривая тока в нагрузке, полученная в результате моделирования

Литература

1. **Тиристорные преобразователи частоты** / А.К. Белкин и др. М.: Энергоатомиздат, 2000.
2. **Слухоцкий А.Е.** Индукторы. Л.: Машиностроение, 1989.
3. **Горбунов А.С.** Индукционный низкотемпературный нагрев трубопроводов // Актуальные проблемы науки и техники: Сб. науч. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Уфа: Нефтегазовое дело, 2012.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ТРУБ

Использование индукционного нагрева в промышленности с течением времени становится все более актуально и выгодно. Это связано, во-первых, с высоким коэффициентом полезного действия (КПД). Электрический КПД индукционной печи составляет 80 — 90 %. Термический КПД при использовании современных материалов для футеровки и теплоизоляционных материалов также достигает больших значений (это 80 — 95 %). Во-вторых, связано с тем, что данный метод является наиболее экологически чистым по сравнению с другими методами, используемыми в металлообрабатывающей промышленности.

Доклад посвящен расчетным этапам проектирования и моделирования установки для сквозного индукционного нагрева труб диаметром от 1016 до 1574 мм и толщиной стенки от 6 до 25 мм до температур 800, 1000 и 1200 °С и дальнейшей выдержки при данных температурах в целях улучшения свойств материалов, из которых изготовлена труба. Установка представляет собой 12 параллельно расположенных индукторов, имеющих общую футеровку. Внутри индукторов труба совершает возвратно-поступательные колебания для равномерного нагрева по длине. Исследования параметров данной индукционной системы осуществляются в программе Universal 2D, использующей численные методы для моделирования на ЭВМ.

При моделировании определяются оптимальные параметры источников питания установки (частота питающего напряжения, номинальная мощность) для нагрева труб. Оптимальные значения параметров принадлежат интервалу рассчитанных значений [1]. Поднимается также вопрос геометрии индукторов (диаметре индуктора, количестве витков, диаметре шины индуктора, толщине стенки шины) [2]. Подбираются параметры и материалы футеровки. Рассматриваются вопросы равномерности нагрева заготовки по длине и термостатирования.

Литература

1. **Слухоцкий А.Е.** Индукторы для индукционного нагрева. Л.: Энергия, 1974.
2. **Слухоцкий А.Е.** Установки индукционного нагрева. Л.: Энергоиздат, 1981.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКИХ ИНДУКТОРОВ

Индукционный нагрев широко используется при плавке, закалке и других технологических процессах, связанных с нагревом. При этом чаще всего используются индукторы, нагреваемый металл в которых помещается внутрь. В этом случае нагреванию подвергается весь объём помещённого металла. Однако в некоторых случаях требуется обеспечить нагрев заданного участка плоской поверхности. Это требует исполнения индуктора в виде плоской катушки индуктивности, осуществляющей электромагнитное воздействие на плоскость изделия.

С целью определения характера электромагнитного воздействия плоской катушки индуктивности на ферромагнитную поверхность проведено моделирование электромагнитного поля, глубины его проникновения в ферромагнитное изделие и распределения плотности тока по сечению проводов индуктора и изделия. В результате моделирования выявлена зависимость распределения электромагнитного поля от соотношения размеров индуктора и изделия. При этом определено оптимальное соотношение размеров, а также вид обмотки плоского индуктора. На рис. 1 представлен пример распределения магнитного поля (рис. 1, а) плоского индуктора в сочетании с ферромагнитным изделием, а также кривая распределения плотности тока (рис. 1, б) по обмотке индуктора и изделию.

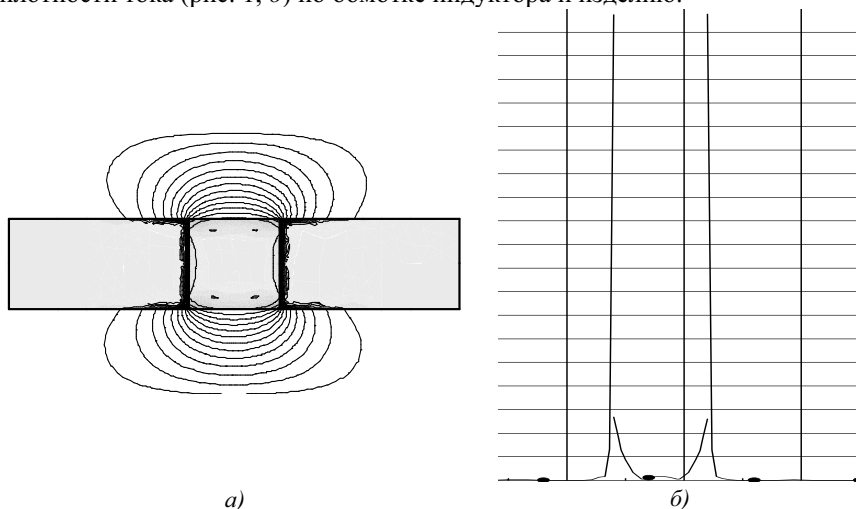


Рис. 1. Результаты моделирования плоского индуктора

В целом математическое моделирование плоских индукторов позволило оптимизировать их конструкцию и определить их характеристики.

А.С. Евдокимчик, студ.; рук. М.А. Федин, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВКИ МЕТАЛЛОВ В ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ С ПРОВОДЯЩИМ ТИГЛЕМ

В настоящее время индукционные тигельные печи применяют для плавки высококачественных сталей и сплавов, по показателям чистоты химического состава соответствующих определенным требованиям. В зависимости от электрических свойств материала, из которого выполнен тигель, существуют индукционные печи с непроводящим (диэлектрический керамический тигель) и проводящим тиглем (стальной, графитовый, графито-шамотный). К примеру, графитовый тигель используют для плавки драгоценных металлов, стальной — для плавки магния [1].

Примером печей с проводящим тиглем является индукционная тигельная печь емкостью 1 кг для плавки серебра, имеющая тигель из графита и работающая на кафедре ФЭМАЭК НИУ «МЭИ».

Мощность тепловыделения			
Δ , мм	$P_{\text{тиг}}$, Вт	$P_{\text{заг}}$, Вт	$P_{\text{инд}}$, Вт
5	842	315	244
7,5	1563	289	237
10	2641	264	224
12,5	4027	231	205

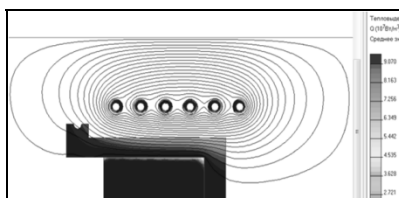


Рис. 1. Модель печи в ELCUT

В настоящее время на базе данной печи на кафедре создается лабораторная установка, проведены экспериментальные исследования, создана модель печи в пакете ELCUT (рис. 1) (решены задачи магнитного поля переменных токов, тепловая, а также связанная задачи). С использованием пакета ELCUT получены составляющие энергетического баланса установки (мощности, выделяющиеся в тигле, загрузке (медь), индукторе: $P_{\text{тиг}}$, $P_{\text{заг}}$ и $P_{\text{инд}}$ соответственно) в зависимости от толщины стенки Δ проводящего тигля (табл. 1). Полученные результаты подтверждены экспериментально и используются при настройке системы управления печи по косвенным параметрам.

Литература

1. Фарбман С.А., Колобнев И.Ф. Индукционные печи для плавки металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1968.

ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ ПРИ ПРЕССОВАНИИ

Основными технологическими параметрами процесса прессования являются температура и скорость деформации, причем температура заготовки взаимосвязана с другими технологическими показателями и изменяется в ходе прессования. Одна из особенностей горячего прессования, например, алюминия и его сплавов по сравнению с другими металлами — довольно узкий интервал между температурами, при которых возможна их деформация при допустимом давлении. Кроме того, они весьма чувствительны к перегреву. За последние годы решающее значение для непрерывного прессования приобрел индукционный нагрев слитков.

Качество непрерывно прессованных изделий в значительной мере зависит от равномерности нагрева исходного материала до требуемой температуры обработки. При этом радиальные и осевые перепады температуры при нагреве слитков в индукторе должны быть минимальными. Разница температуры поверхности и центра увеличивается с ростом концентрации мощности. По сравнению с нагревом в печах косвенного нагрева индукционный нагрев очень выгоден в отношении радиального перепада температур. При обработке алюминиевых сплавов по техническим причинам чаще всего бывает желательным явление, обратное физической сущности индукционного нагрева, а именно: температура в центре выше, чем на поверхности слитка, потому что внешние слои слитка при непрерывном прессовании деформируются сильнее и дополнительно нагреваются за счет трения. Здесь физические данные противостоят требованиям процесса прессования. Важной характеристикой теплового состояния нагретой заготовки является соответствие средней температуры заданной. Так, в ходе прессования прутков из сплава Д16 с коэффициентом вытяжки 15 при повышении точности нагрева от 5 до 2,5 % критическая скорость прессования возрастает вдвое. При проектировании индукторов радиальному перепаду с самого начала уделялось необходимое внимание. В то же время осевые перепады температур плохо выравниваются при прохождении слитков через индуктор и при прессовании могут служить причиной значительных трудностей. Неравномерность нагрева по длине в реальных индукторах в основном определяется краевыми эффектами, отстроиться от которых можно с помощью выбора оптимальной величины заглубления выходного торца слитка. Для достижения требуемой производительности для каждого непрерывного пресса необходимо устанавливать в печи катушки индуктора различной длины. Чем больше слитков определенной длины одновременно находится в катушке, тем меньше удельная нагрузка поверхности каждого слитка и тем равномернее нагрев его поперечного сечения.

Журжи Д.П. студ.; рук. К.А. Елизаров, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ В ВАННЕ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ШЛАКОВОЙ ПЕЧИ

Рудно-термическая шлаковая печь (РТШП) представляет собой электротехнологическую установку, в которой протекает сложный комплекс одновременно взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов физико-химического превращения и движения шихтовых материалов и продуктов плавки, теплогенерации, теплопоглощения и теплообмена, взаимодействия электромагнитных, гидродинамических и тепловых явлений, износа футеровки, настылеобразования и др. [1]. Эти установки предназначены для получения в основном цветных металлов путем термохимической обработки сырья в шлаковой зоне.

При проектировании РТШП особую сложность представляет выбор параметров источника питания. Выделяемая мощность в печи определяется током, проходящим по ванне, содержащей расплав шлака и штейна, и ее сопротивлением, которое в свою очередь зависит от уровня заглубления электродов в шлак и от соотношения объемов штейна и шлака. Поиску этих зависимостей, облегчающих процедуру обоснованного выбора источника питания с необходимыми параметрами, посвящена данная работа. Для получения адекватной картины распределения токов по ванне, в силу несимметрии расчетной области, необходимо решать задачу трехмерного моделирования, что приводит к резкому увеличению количества описывающих рассматриваемую задачу уравнений. Аналитически решить данные уравнения невозможно. В связи с этим предложено использовать компьютерные системы численного решения, а именно пакет программ ANSYS, использующий метод конечных элементов. В результате получены зависимости электрических характеристик ванны печи от заглубления электродов в шлак и соотношения объемов штейна и шлака. Это позволяет произвести анализ процессов, протекающих в ванне печи, и обоснованно подойти к решению задач выбора параметров источника питания и построения его рабочих характеристик.

Литература

1. . Моделирование электротехнологических процессов и установок // «Компания Спутник+». 2004.

С.А. Зубарев, асп.; Я.М. Ошкин, студ.;
рук. В.А. Данилушкин, к.т.н., ст. преп. (СамГТУ, г. Самара)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ ПОТОКА ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ

В работе рассматриваются особенности технологического нагрева вязкой жидкости в индукционном нагревателе перед транспортировкой по трубопроводам. Нагрев происходит за счет джоулева тепла, выделяющегося в стенке трубы под воздействием электромагнитного поля индуктора. Определение температурного поля в потоке движущейся жидкости невозможно без определения характера движения жидкости, так как возможны движение параллельных слоев с разной скоростью или режим с перемешиванием слоев жидкости. Для оценки характера движения вязкой жидкости необходимо учитывать зависимость вязкости, плотности, удельной теплоемкости жидкости, коэффициентов теплопроводности, теплопередачи и других величин от температуры. При ламинарном режиме скорость изменяется по закону параболы. При турбулентном режиме кривая изменения скорости имеет вид усеченной параболы, а отношение средней скорости к максимальной является функцией числа Рейнольдса. Указанный выше характер распределения скоростей по сечению трубы справедлив только для так называемого гидродинамически стабилизированного движения жидкости, стабилизация же наступает не сразу, а на некотором расстоянии X от входа в трубу. В условиях теплообмена движение жидкости является неизотермическим, так как температура жидкости изменяется по сечению и по длине трубы. При нагревании скорость течения жидкости у стенки выше, а в среднем сечении ниже в сравнении с изотермическим режимом. Таким образом, при наличии теплообмена параболическое распределение скоростей в условиях ламинарного течения жидкости нарушается. Для решения задачи тепломассопереноса с учетом указанных особенностей предложена математическая модель и разработаны вычислительный алгоритм и программа, содержащая три расчетных блока — электрический, гидравлический и тепловой. В качестве расчетной предложена связанная термогидравлическая модель, которая позволяет передать профиль скорости из гидравлической в тепловую задачу. Показано, что эффективность нагрева падает со снижением напора температуры. Полученные результаты позволяют решать инженерные задачи расчета параметров энергоэффективных электротермических установок для нагрева жидких и газообразных сред.

*В.С. Ивекеев, студ.; рук. А.А. Николаев, к.т.н., доц.
(МГТУ им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск)*

СПОСОБЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

На сегодняшний день на многих современных металлургических и машиностроительных предприятиях дуговая сталеплавильная печь (ДСП) является одним из главных агрегатов для получения жидкой стали. При эксплуатации ДСП возникают две очень важные проблемы, вызванные несимметричным и резкопеременным характером нагрузки: обеспечение условий максимального и наиболее эффективного использования электрической энергии дуги на всех стадиях плавки и соблюдение требований электромагнитной совместимости ДСП с питающей сетью [1].

Для решения этих проблем применяется метод имитационного моделирования, т.е. разработка математической модели, приближенной к реальному объекту. При создании такой модели не всегда учитываются все взаимосвязи ДСП с питающей сетью (например, не учитываются действия компенсирующих устройств и изменение питающего напряжения). Но наибольшие трудности вызывает представление самой электрической дуги, так как модель должна, с одной стороны, достаточно точно и адекватно отражать реальные физические процессы, а с другой — быть легко реализуемой и гибкой при проведении исследований.

В настоящее время применяются три способа представления дуги:

1. Представление дуги переменным активным сопротивлением.
2. Представление дуги нелинейным дифференциальным уравнением Касси, которое позволяет учесть ее нелинейные свойства.
3. Представление напряжения дуги во время горения постоянным значением.

Каждый из методов расчета применяется в зависимости от поставленных целей и задач исследования.

В настоящей работе выполнено детальное исследование и сравнение трех различных способов моделирования. Приведены результаты расчетов мощности, коэффициента мощности, коэффициента нелинейных искажений тока при различных режимах работы ДСП [2].

Литература

1. Тулуевский Ю.Н., Зинуров И.Ю. Инновации для дуговых сталеплавильных печей. Научные основы выбора. Новосибирск. Изд-во НГТУ, 2010. 347 с.
2. **Моделирование** электротехнических комплексов металлургических предприятий: учебное пособие / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, Т.Р. Храмшин, А.А. Мурзиков. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 235 с.

Е.И. Кабалин, асп.; рук. А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ХОЛОДНОГО ТИГЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

Стенки индукционных печей с холодным тиглем (ИПХТ) (рис. 1) при выплавке тугоплавких металлов испытывают значительные тепловые нагрузки (до 3000 °С). Для их компенсации используется проточная система охлаждения, что небезопасно, так как в случае прожига стенки холодного тигля (ХТ) может возникнуть аварийная ситуация [1]. Для предотвращения таких последствий предлагается использовать испарительную двухфазную систему охлаждения секции ХТ, работающую по принципу «тепловой трубы».

Инженерная методика расчета такой системы охлаждения состоит из следующих этапов: выбора конструкции системы; определения исходных данных (отводимой мощности, теплофизических данных и т.д.); расчета основных параметров системы; анализа полученных данных.

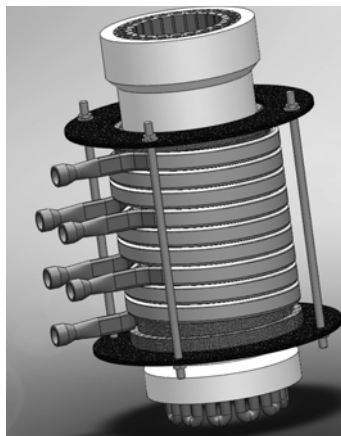


Рис. 1. Индукционная печь с холодным тиглем

Выбор конструкции, теплоносителя и материала тепловой трубы оказывает определяющее влияние на ее расчет и работу.

Исходные данные для расчета определяются из теплового и электрического расчета установки и справочных данных.

Расчет параметров испарительной системы охлаждения секций ХТ проводится по общепринятой методике [2] с учетом особенностей работы ИПХТ:

- наличия потерь энергии в секциях в электромагнитном поле;
- несимметричного расположения секций относительно источника тепла;
- вертикального расположения секций (действие гравитационных сил);
- необходимости запаса прочности конструкции трубок с учетом перепадов температуры и давления.

Данная методика применима для расчета систем испарительного охлаждения теплонегруженных узлов других электротермических установок.

Литература

1. **Тир Л.Л., Фомин Н.И.** Современные методы индукционной плавки. М.: Энергия, 1975.
2. **Чи С.** Тепловые трубы. Теория и практика. М.: Машиностроение, 1981.

ДУГОВАЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНАЯ ПЕЧЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Недостатками современных дуговых сталеплавильных печей постоянного тока являются уменьшение КПД дуги из-за больших потерь энергии излучения электрических дуг на нагрев воды в водоохлаждаемых стенах и оплавление футеровки футерованной части свода [1—3].

Результатом исследований стала дуговая сталеплавильная печь, содержащая футерованный металлический корпус с ванной металла, под с подовыми электродами, водоохлаждаемые стены, сливной желоб, свод, состоящий из футерованной и водоохлаждаемой частей, с расположенным в нем сводовым электродом, в поде которой, согласно изобретению, по окружности ванны металла симметрично установлены четыре подовых электрода с возможностью поочередного их включения в процессе расплавления шихты, при этом расстояние между электродами составляет 0,46 — 0,52 диаметра ванны металла. Расчетами и моделированием было установлено, что при таком расстоянии между электродами наблюдается максимальный тепловой поток к ванне металла.

Схема питания устройства состоит из электропечного трансформатора, четырех управляемых выпрямителей по одному на каждый из четырех подовых электродов и системы импульсно-фазового управления управляемыми выпрямителями.

Симметричная установка в печи четырех подовых электродов по окружности, диаметр которой составляет 0,46 — 0,52 диаметра ванны металла, позволит создать вращающуюся по ванне металла дугу, что повысит равномерность расплавления шихты, выровняет температуру металла, уменьшит время плавки.

Предлагаемое устройство позволяет достичь следующих результатов: повысить КПД на 13 %, увеличить производительность и, как следствие, сократить удельный расход электроэнергии на 8—9 %.

Изобретение находится на стадии технического предложения.

Литература

1. **Конструкции** и проектирование агрегатов сталеплавильного производства / В.П. Григорьев, Ю.М. Нечкин, А.В. Егоров, Л.Е. Никольский. М.: МИСИС, 1995. — 512 с.
2. **Патент РФ № 2410444.** Дуговая сталеплавильная печь постоянного тока / А.Н. Макаров, Т.И. Запримова, Ю.А. Луговой. Оpubл. 27.01.2009. Б.И. №3.
3. **Макаров А.Н., Луговой Ю.А., Зуйков Р.М.** Энергосбережение при производстве стали в плазменно-дуговых печах // *Электрометаллургия*. 2010. № 9. С. 12—18.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДВУХ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ МАЛОЙ ЕМКОСТИ ОТ ОДНОГО ДВУХКАНАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

В настоящее время уделяется огромное внимание системам питания и управления индукционных печей. Это вызвано тенденцией получения высоких технико-экономических показателей.

Существуют различные системы питания плавильных узлов. Наиболее популярны системы питания двух плавильных агрегатов от одного источника питания с двумя выходами [1].

Двухканальные силовые установки позволили литейным производствам одновременно вести плавку в одной печи и поддерживать необходимую температуру во второй печи, из которой осуществляется слив расплавленного металла.

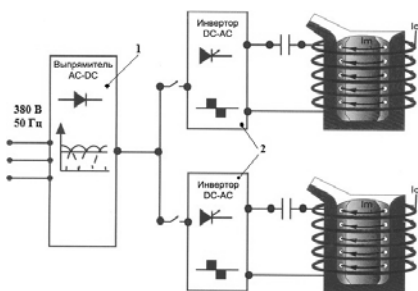


Рис. 1. Схема питания печей:
1 — ТПЧ; 2 — инверторы тока

Рассматриваемые печи имеют емкость от 0,06 до 2,5 т, питаются от тиристорных преобразователей частоты в диапазоне от 500 Гц до 2,4 кГц, потребляют мощность от 110 до 1600 кВт [2].

Схема питания печей представлена на рис. 1. Питание осуществляется от сети 0,4 кВ через тиристорный преобразователь частоты, что позволяет регулировать электрические режимы в соответствии с технологическим процессом.

Разработанная система питания позволит повысить производительность литейных цехов в мелкосерийном производстве, задействовать весь персонал, сократить трудозатраты, наладить получение металла в момент ремонта одного из плавильных агрегатов.

Рассмотрена работа систем питания и управления плавильными агрегатами для различных металлов с учетом температурных зависимостей электрофизических свойств металлов, а также переменного уровня расплава в тиглях.

Литература

1. Джон Х. Мортимер. Наука и технология. <http://www.inductotherm.ru/>
2. Web-сайт <http://tdinduktor.ru>

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ПЕРЕМЕННОГО УРОВНЯ РАСПЛАВА И ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ТИГЛЯ

В процессе эксплуатации индукционной тигельной печи (ИТП) или миксера (ИТМ) стенка тигля утоньшается. Это происходит из-за размывания стенки горячим металлом вследствие активной циркуляции металла, связанной с действием электродинамических сил. Утоньшение стенки тигля существенно влияет на электрические характеристики системы «индуктор—загрузка». В данной работе было проведено исследование комплексного влияния изменения толщины стенки и уровня расплава в тигле на характеристики ИТМ (электрический КПД, коэффициент мощности). В качестве объекта исследования взят ИТМ для перегрева и выдержки чугуна емкостью 6 т. Все расчеты проводились в программе Overheat. Результаты расчета приведены на рис. 1.

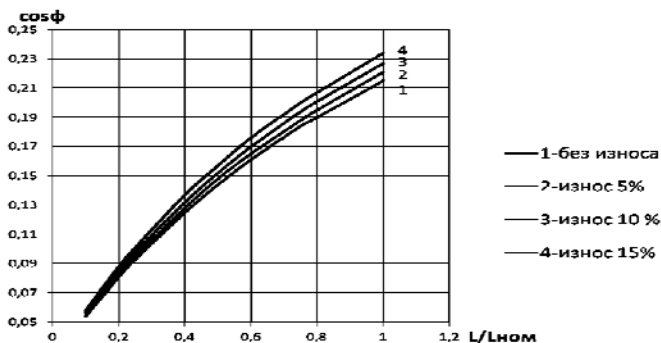


Рис. 1. График зависимости $\cos \phi$ от уровня расплава при различных значениях износа стенки тигля

Исходя из данных, приведенных на рис. 1, можно сделать вывод, что утоньшение стенки тигля приводит к увеличению коэффициента мощности. Это происходит из-за уменьшения зазора между индуктором и металлом, а следовательно, снижения реактивной мощности.

По результатам эксперимента были получены аппроксимированные с достаточной степенью точности зависимости уровня расплава в тигле от $\cos \phi$ для 5, 10 и 15 % износа тигля, а также для тигля без износа. Эти зависимости в дальнейшем планируется использовать при создании системы автоматического регулирования мощности ИТП (ИТМ) по косвенным параметрам.

*Я.В. Макаров, асп.; М.С. Жеваев, студ.; рук. В.М. Мякишев, к.т.н., доц.
(СамГТУ, г. Самара)*

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Процесс повторного зажигания дуги переменного тока представляет двойкий интерес. С одной стороны, в коммутационных аппаратах необходимо принять меры для ее надежного погасания, а с другой стороны, в электротехнологических установках — к ее надежному зажиганию и устойчивому горению. В момент погасания в створе дуги протекает процесс деионизации и диэлектрическая прочность возрастает в первом приближении по экспоненциальному закону и характеризуется постоянной времени дуги Θ . При анализе процессов, связанных с моментом перехода тока через нуль, удобнее использовать модель Майера [1, 2].

Для оценки динамических свойств источника питания целесообразно использовать параметры, характеризующие восстанавливающее напряжение. Здесь основными параметрами являются величина возвращающейся составляющей напряжения источника и скорость его нарастания [3]. Эти величины могут быть получены из теоретических расчетов или экспериментально. Теоретический расчет связан с использованием достаточно точной модели источника питания, что часто сопряжено с определенными трудностями и учетом динамических параметров дуги как нелинейного элемента структурной схемы электродуговой системы. Все это приводит к необходимости использования раздельного метода анализа. Свойства источника питания удобнее определять с помощью индикаторного метода обследования цепи [1, 2], основанного на применении теоремы Тевенена. Анализ процесса восстановления напряжения позволяет оценить динамические свойства источника питания и, в частности, определить его постоянную времени. Индикаторным методом был обследован ряд сварочных источников питания. Полученные результаты подтверждают возможность использования схемы замещения первого порядка.

Литература

1. **Залесский А.М.** Электрическая дуга отключения. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963.
2. **Мякишев В.М.** Сварочный трансформатор с насыщающимся участком магнитопровода. Самара, СамГТУ. 2010.
3. **Таев И.С.** Электрическая дуга в аппаратах низкого напряжения. М.; Л.: Энергия, 1965.

Д.В. Маслов, асп.; рук. В.П. Рубцов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ ДУГОВОЙ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для большинства дуговых сталеплавильных печей (ДСП) существуют проблемы, связанные с поломками электродных свечей в момент зажигания дуги. Расход электродов, обусловленный их поломками, составляет 10—20 % общего расхода. Поломка электродной свечи ведет к ее частичной или полной замене и, соответственно, к длительному простоя печи.

Чтобы уменьшить вероятность поломки электродной свечи при упоре в шихту, предлагается перемещать электрод вниз для зажигания дуги в двух режимах: на максимальной скорости до момента сближения со скрапом и снижать ее до допустимых значений после этого.

Для реализации вышеописанного алгоритма зажигания дуги в ДСП постоянного тока предлагается использовать усовершенствованный регулятор мощности, функциональная схема которого приведена на рис.1. Отличительной особенностью предлагаемого регулятора мощности ДСП является наличие измерителя промежутка 16 между торцом электрода и шихтой и дополнительной ветви воздействия на привод перемещения электрода (элементы 11—15). На стадии зажигания дуги при опускании электрода вниз и приближении его к шихте измеритель 16 вырабатывает сигнал, пропорциональный величине промежутка, при достижении определенного уровня которого на привод перемещения электрода поступает задание на изменение скорости с «маршевой» на «ползучую». Последующее движение электрода до касания с шихтой происходит на низкой, безопасной для электрода скорости.

Предложенный способ позволяет снизить вероятность поломки электродов и положительно отражается на экономических параметрах плавки — сокращается суммарный расход электродов на тонну расплава.

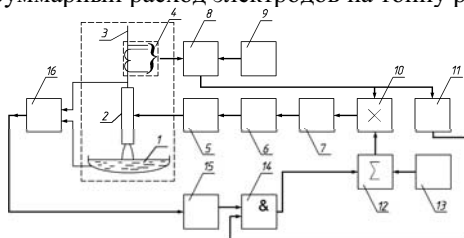


Рис. 1. Усовершенствованный регулятор мощности ДСП постоянного тока:

1 — ванна с шихтой; 2 — электрод; 3 — токоподвод; 4 — элемент измерения режима; 5 — механизм перемещения электрода; 6 — двигатель; 7 — усилительный элемент; 8 — элемент сравнения; 9 — задающий элемент; 10 — блок умножения; 11 — элемент выделения направления движения; 12 — сумматор; 13 — элемент задания ползучей скорости; 14 — ключевой элемент; 15 — пороговый элемент; 16 — измеритель промежутка

*Ф.Е. Митяков, Е.В. Горячих, аспиранты;
рук. В.П. Рубцов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ВАРИАНТЫ ИСПОЛНЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЯМИ ИЗ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

В высокотемпературных электрических печах сопротивления в качестве материалов нагревателей широкое применение нашли тугоплавкие металлы (в вакууме), а также дисилицид молибдена (в окислительной атмосфере). Данные материалы имеют характерную особенность: высокое значение температурного коэффициента электрического сопротивления.

Классический способ включения в сеть нагревателей из тугоплавких металлов включает в себя применение многоступенчатого понижающего трансформатора с регулированием напряжения в широком диапазоне. Это необходимо для включения печи на пониженном напряжении и постепенного его увеличения по мере роста температуры. Недостаток такого способа управления ЭПС зачастую связан с трудностями, определяемыми отсутствием трансформаторов с достаточным количеством ступеней напряжения, необходимых при пуске печи. Кроме того, падающая характеристика понижающих трансформаторов приводит к недоиспользованию трансформатора по мощности при питании печи на пониженных ступенях напряжения [1].

В ряде специализированных исполнительных элементов — тиристорных регуляторов переменного напряжения вводят нелинейную отрицательную обратную связь по току («токовую отсечку»), ограничивающую ток нагрузки допустимыми для тиристорных значениями. Применение «токовой отсечки» позволяет принудительно ограничивать ток на нагревателях и использовать обычный понижающий трансформатор с одним значением выходного напряжения. Недостатком такого способа является то, что в большинстве исполнений тиристорных регуляторов мощности «токовую отсечку» не применяют.

В [2] предлагается новый вариант схемного решения, обеспечивающего контроль тока нагревателей. Он заключается во введении обратной связи по току в канал обратной связи по температуре, что позволяет расширить возможности применения стандартных программируемых регуляторов температуры. По данному техническому решению получен патент на полезную модель № 98602.

Литература

1. **Лейканд М.С.** Вакуумные электрически печи (сопротивления и индукционные). М.: Энергия, 1968. — 328 с.
2. **Влияние** ограничения тока нагревателей на работу регуляторов температуры в высокотемпературных вакуумных печах сопротивления / В.П. Рубцов, Ф.Е. Митяков, Е.В. Горячих, А.М. Кручинин // Вестник МЭИ. 2012. №2. С. 80—84.

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННОГО ГРАДИЕНТНОГО НАГРЕВА

Для исследования физических явлений в электромагнитной системе и распределения температурных полей в индукционной установке градиентного нагрева алюминиевых слитков для наложения кабельной оболочки на металлическую жилу используется программа расчета полей методом конечных элементов (*ELCUT*), позволяющая выполнять совместный анализ электромагнитного и теплового полей в процессе нагрева. Результаты расчета, полученные с помощью программы *ELCUT*, довольно точно совпадают с результатами эксперимента, проведенного на работающей установке индукционного нагрева [1].

В целях автоматизации процесса расчета параметров установки индукционного градиентного нагрева промышленной частоты разработана инженерная методика расчета, которая с помощью нескольких взаимосвязанных программ (*Delphi*, *Excel* и *ELCUT*) производит моделирование, расчет и анализ физических процессов в индукционной установке (рис. 1).

Это позволяет ускорить расчеты для определения наиболее эффективных конструкций индуктора и режимов нагрева.

Ввод данных осуществляется в окно программы, созданной с помощью языка программирования *Delphi*, после чего они направляются в *Excel*, откуда производится передача данных для моделирования установки индукционного градиентного нагрева и расчета электромагнитной и тепловой задач в *ELCUT*. Результаты расчета в табличном виде выводятся в *Excel*, обрабатываются и анализируются в *Delphi*.

Использование разработанной программы дает возможность быстро производить ввод и анализ полученных данных, представлять результаты расчетов в табличном и графическом виде и, таким образом, быстро осуществлять выбор оптимальных вариантов технических решений.

Литература

1. Кувалдин А.Б., Некрасова Н.С. Моделирование градиентного индукционного нагрева алюминиевых заготовок // Индукционный нагрев, 2011, № 2 (16).

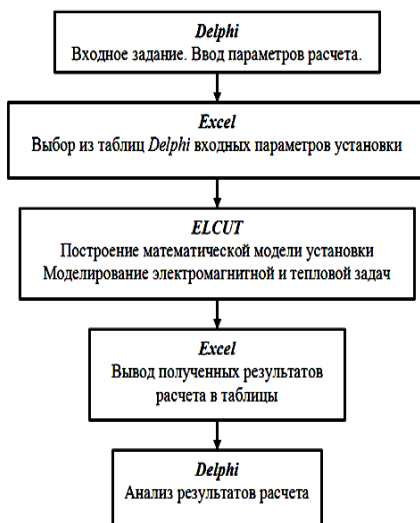


Рис. 1. Инженерная методика расчета

О.В. Никитина, студ.; рук-ли Н.Н. Клочкова, к.т.н., доц.;
А.В. Обухова, к.т.н., доц. (СамГТУ, г. Самара)

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ РАЗОГРЕВА ЗАСТЫВШЕЙ ПЛАСТМАССЫ КОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Оптимальное проектирование (ОП) является одним из главных путей повышения качества и эффективности проектно-конструкторских работ в различных отраслях промышленности [1].

Задача ОП индукционного нагревателя (ИН) для разогрева застывшей пластмассы имеет следующую постановку: требуется найти закон распределения удельной мощности $P_{\text{опт}}(x)$ нагрева, обеспечивающий по всей длине и всей внутренней поверхности заготовки заданное распределение температуры с точностью ΔT .

В задаче оптимального проектирования в качестве управляющих параметров используются: число слоев в индукторе — $n_{\text{сл}}$, число витков в слое — $w_{\text{сл}}$, распределение витков по длине индуктора — $w(x)$ с учетом следующего критерия $\Delta T \geq \max |T_{\text{опт}}(x) - T_{\text{зад}}(x)|$ при энергетических и технологических ограничениях вида

$$P_{\min} \leq P(t) \leq P_{\max}, \quad T_{\text{зад}}(x) \leq T_{\max}, \quad n_{\text{сл}} \leq 4, \quad w_{\text{сл}} \leq 20, \quad (1)$$

где $T_{\text{опт}}(x)$ — температурное поле по длине заготовки, $T_{\text{зад}}(x)$ — заданное температурное распределение, T_{\max} — максимально допустимая температура нагрева.

Задача оптимального проектирования решается путем систематического просмотра многомерных областей: в качестве пробных точек в пространстве параметров используются точки равномерно распределенных ЛПт- последовательностей.

На основе проведенных исследований была получена конструкция индуктора, изображенная на рис. 1.

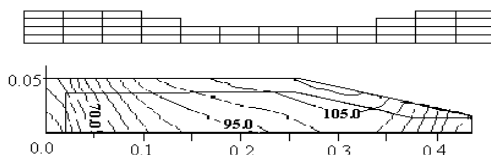


Рис. 1. Многослойный индуктор с неравномерным шагом намотки

Литература

1. **Зимин Л.С.** Оптимальное проектирование систем индукционного нагрева в технологических комплексах обработки металла давлением: Автореф. дис.... докт. техн. наук. — Л., 1987. — 30 с.

Р.И. Перов, Н.М. Вахмянин, Б.Б. Антонов, студенты;
рук. М.А. Федин, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

ИНДУКЦИОННАЯ ТИГЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ ДЛЯ ПЛАВКИ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

Индукционный нагрев широко используется для плавки драгоценных металлов. В качестве источника питания таких установок применяются статические тиристорные и транзисторные преобразователи частоты (высокочастотные транзисторные генераторы).

В настоящее время на кафедре ФЭМА-ЭК НИУ «МЭИ» создается лабораторная установка индукционного нагрева и плавки на базе индукционной тигельной печи (ИТП) с проводящим графитовым тиглем емкостью 1 кг по серебру (рис. 1).

В качестве источника питания используется транзисторный преобразователь частоты с установленной мощностью 2,5 кВт и выходной частотой около 22 кГц. КПД преобразователя составляет не менее 0,9.

Экспериментальные исследования на установке проводятся с использованием цифрового осциллографа, тепловизора Agema 550 Thermal Imaging System. Получены энергетический баланс установки, кривые выходного напряжения (рис. 2) и тока транзисторного инвертора. С применением программных средств получен спектр кривой напряжения на индукторе (рис. 3).

На базе описанной установки планируется создание лабораторного стенда, позволяющего исследовать различные режимы работы установки индукционного нагрева и плавки при использовании различных принципов регулирования, в том числе регулирования по косвенным параметрам [1].

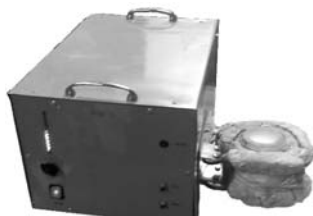


Рис. 1. Экспериментальная установка с ИТП для плавки драгоценных металлов

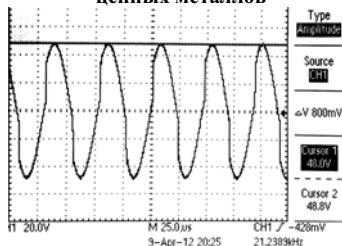


Рис. 2. Кривая напряжения на индукторе

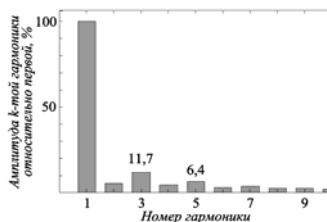


Рис. 3. Спектр кривой напряжения на индукторе

Литература

1. Федин М.А. Разработка системы управления температурой расплава в индукционных тигельных миксерах по косвенным параметрам // Вестник МЭИ. 2009. № 5. С. 54 — 59.

*Д.Н. Пименов, А.Ю. Таймолкин, аспиранты;
рук. В.А. Данилушкин, к.т.н., ст. преп. (СамГТУ, г. Самара)*

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОСВЕННЫМ ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ ЖИДКОСТИ

Рассматривается проблема управления процессом нагрева вязких жидкостей в проходном индукционном нагревателе. Решение этой проблемы значительно усложняется из-за неравномерного распределения температуры по сечению потока. При транспортировке вязких жидкостей поток жидкости носит ламинарный характер. В зависимости от физических характеристик жидкости (теплопроводности, вязкости) и требований к точности стабилизации температуры закон регулирования может быть сформирован на основании информации о средней температуре потока жидкости на выходе из нагревателя либо по теплосодержанию жидкости на выходе. Однако система с обратной связью по средней температуре жидкости дает удовлетворительные результаты только в тех случаях, когда можно пренебречь неравномерностью распределения скорости по сечению потока.

Более высокую точность при ламинарном характере течения позволит обеспечить система регулирования, замкнутая по выходному теплосодержанию. Для реализации системы автоматического регулирования с обратной связью по теплосодержанию сечение потока жидкости делится на несколько условных кольцевых зон, в пределах каждой из которых температуру жидкости можно считать постоянной. Количество зон, или число точек измерения температуры по сечению потока, определяется требованиями к точности поддержания теплосодержания на выходе из нагревателя, вязкостью жидкости, теплопроводностью и рядом других факторов. Теплосодержание жидкости на выходе из нагревателя при известной температуре определится простым суммированием теплосодержаний всех зон. Контроль температурного распределения осуществляется с помощью термомпар, установленных на выходе из нагревателя в дискретных точках по сечению потока. Для реализации обратной связи по теплосодержанию вводится дополнительно вычислительный блок, в который поступает информация о температуре жидкости в каждом сечении потока, скорости и константах, таких как плотность жидкости, теплоемкость, температура жидкости на входе в нагреватель. Проведен анализ качественных показателей работы предложенной системы регулирования при отработке возмущающих воздействий по различным каналам. Результаты анализа свидетельствуют об удовлетворительных качественных показателях работы системы.

Д.В. Птицын, студ. (ОмГТУ, Омск); рук. А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»); Е.В. Птицына, д.т.н. (ОмГТУ, г. Омск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДРОССЕЛЯ НАСЫЩЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА *ELCUT*

Для разработки эффективной конструкции дросселя насыщения (ДН) — важного элемента системы управления технологическим процессом в электротехнологических установках (ЭТУ) с питанием током сложной формы (ТСФ) необходимо проведение исследования электромагнитного поля, что в настоящей работе реализовано с использованием программного пакета *ELCUT*. Диапазон регулирования напряжения ДН обусловлен изменением индуктивности рабочей обмотки и определяется характером изменения относительной магнитной проницаемости μ электротехнической стали магнитопровода.

Исходными данными для построения геометрии модели и расчета задачи магнитостатики и магнитосвязанной задачи переменного магнитного поля послужили: число витков рабочей обмотки (100 витков), ток в рабочей обмотке дросселя насыщения (300 А), диапазон изменения плотности тока в обмотке управления дросселя насыщения (1—5 А/мм²), сечение магнитопровода, кривые намагничивания $B = f(H)$ для различных марок стали, в качестве материала для обмоток управления и рабочей выбрана медь ($\mu = 1$). Связанную задачу расчета магнитного поля переменного поля решали при различной полярности включения катушек рабочей обмотки ДН.

Допущения, принятые в исследованиях: электропроводность магнитопровода принята равной нулю, электромагнитное поле дросселя насыщения рассматривалось как плоскопараллельное.

В соответствии с поставленной целью были решены задачи, позволившие определить диапазон изменения относительной магнитной проницаемости и уровень насыщения стали, исследовать локальные значения индукции и напряженности магнитного поля в разных сечениях магнитопровода, спектральный состав и амплитуды гармоник магнитной индукции и напряженности магнитного поля, а также комплексные значения магнитного потока в выбранных сечениях магнитопровода, диапазон изменения индуктивности рабочей обмотки дросселя насыщения и др.

Результаты исследований картины поля позволяют выбрать материал для изготовления магнитопровода и наиболее оптимальную конструкцию ДН, соответствующую наименьшему рассеянию поля при работе дросселя в режиме высокого уровня насыщения стали.

В.В. Рыбакова, асп.; рук. А.Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, г. Тверь)

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНАЯ ПЕЧЬ

Реконструкция действующих и создание новых литейных производств являются актуальной задачей модернизации машиностроения в России. Одна из наиболее перспективных технологий плавки — плазменный нагрев. Работа плазменных печей основана на использовании газоразрядной плазмы в качестве теплоносителя. Наибольшее распространение получили дуговые плазмотроны, в которых возможно достижение температуры плазмы порядка 10 000 К. Стремясь получить стабильную работу плазмотрона, чаще всего используют постоянный ток во избежание обрыва дуги при переменном токе.

В 2006—2008 гг. была предложена конструкция плазменно-дуговой сталеплавильной печи емкостью до 10 т с двумя плазмотронами, один из которых установлен в своде печи вертикально, второй — в стене наклонно. Найден рациональный угол наклона плазмотрона 70—75°. В плазменно-дуговой сталеплавильной печи (ПДСП) используют плазмотроны с силой тока до 10 кА, мощностью 4—6 МВт [1].

Расчеты, проведенные для энергетического режима 6-т ПДСП, показывают, что при использовании в начале плавки вертикального плазмотрона и при переходе в конце расплавления и в жидкие периоды плавки стали на работу стеновым плазмотроном с рассчитанным рациональным его положением, снижаются расход электроэнергии за плавку на 12—14 % и продолжительность плавки на 15—16 % [2].

Дальнейшее совершенствование схемы основывается на использовании конструкции с двухструйным плазмотроном, состоящим из катодной и анодной частей, расположенных в одной плоскости под углом. Применение данной конструкции позволит повысить скорость плавки, увеличить КПД печи и оптимизировать режимы ее работы.

Литература

1. **Патент РФ №2410444.** Дуговая сталеплавильная печь постоянного тока / А.Н. Макаров, Т.И. Запрометова, Ю.А. Луговой. Оpubл. 27.01.2009 //Б.И. 2009. № 3.
2. **Макаров А.Н., Зуйков Р.М, Луговой Ю.А.** Рациональное положение плазмотрона и энергосбережение в плазменно-дуговых сталеплавильных печах // Электromеталлургия. 2009. № 5. С. 18—24.

*С.В. Сидоров, асп.; рук-ли А.М. Кручинин, д.т.н., проф.;
А.Ф. Медников, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С ВЫСОКОМОЩНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНЕТРОННЫМ РАЗРЯДОМ

Сегодня ресурс элементов энергетического оборудования (ЭЭО) исчерпан практически на всех действующих ТЭС России. В этой связи весьма остро встанет вопрос о продлении ресурса отдельных ЭЭО.

Основная причина повреждаемости и аварийных остановов энергетического оборудования — эрозионное, коррозионное и эрозионно-коррозионное взаимодействие одно- и двухфазных потоков рабочего тела с металлом.

Одним из перспективных методов повышения износостойкости ЭЭО является применение ионно-плазменных покрытий (ИПП) из нитридов металлов (титан, цирконий, хром), получаемых в условиях глубокого вакуума. Многолетние исследования, проведенные в НЦ «Износостойкость» НИУ «МЭИ», вакуумных ИПП на основе переходных металлов и их нитридов, карбидов и карбонитридов показали их эффективность с точки зрения повышения эрозионной и коррозионной стойкости тепломеханического оборудования.

Физико-химические, механические и функциональные свойства этих покрытий в существенной степени зависят от условий их формирования. Особый интерес представляют электротехнологические установки (ЭТУ) с высокомоощным импульсным магнетронным разрядом (ВИМР) [2]. ВИМР оказался особенно эффективным средством увеличения адгезии покрытия к подложке при использовании его для предварительной подготовки поверхности перед нанесением покрытия [1].

В рамках данной работы были рассмотрены особенности компоновки электрофизической системы ВИМР, проведен анализ воздействия плазмы ВИМР на поверхность образцов, влияния степени разбаланса магнетрона и напряжения смещения на режим ЭТУ магнетронного распыления. Также были проведены экспериментальные исследования влияния параметров ЭТУ магнетронного распыления на процесс формирования защитных покрытий.

Литература

1. **Sarakinos K., Alami J., Konstantinidis S.**, High power pulsed magnetron sputtering: A review on scientific and engineering state of the art // Surface and Coatings Technology. 2010. V. 43. № 27.
2. **Щелканов И.А.** Сильноточный импульсный магнетронный разряд с автоускорением плазмы: дис. ...канд. физ.-мат. наук. М., 2011. С. 135.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ШЛАКА НА КПД ДУГ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Выполнены аналитические исследования влияния высоты слоя шлака на КПД дуг в дуговых сталеплавильных печах (ДСП). Расчеты показали, что при увеличении высоты шлака КПД дуг увеличивается.

КПД дуг ДСП, показывающий долю мощности дуг, идущую на нагрев и расплавление металла и шлака, рассчитывается через средний угловой коэффициент излучения дуг на металл $\eta_{\text{дм}}$ по выражению [1]:

$$\eta_{\text{д}} = 0,08 + 0,9\eta_{\text{дм}} \quad (1)$$

Согласно расчету для ДСП-100 с печным трансформатором мощностью 80 МВ·А и вторичным напряжением 940 В при силе тока 50 кА КПД дуг составляет 0,67 при длине дуг 500 мм и глубине лунки в металле 150 мм. Расчеты показали, что при отсутствии шлака КПД дуг низкий ($\eta_{\text{д}} = 0,47$), с ростом высоты слоя шлака КПД дуг увеличивается и принимает предельное значение $\eta_{\text{д}} = 0,76$ при высоте слоя $h_{\text{ш}} = 550$ мм, оставаясь практически неизменным при дальнейшем ее увеличении (см. таблицу).

**Зависимость КПД дуг от высоты слоя шлака в ДСП
при длине дуг 500 мм и глубине лунки в металле 150 мм**

$h_{\text{ш}}, \text{мм}$	$h_3, \text{мм}$	$h_3 / l_{\text{д}}$	$\eta_{\text{д}}$
0	150	0,3	0,47
100	250	0,5	0,51
350	500	1,0	0,67
450	600	1,2	0,73
550	700	1,4	0,76

В таблице h_3 — высота заглубления дуг в металл и шлак, $l_{\text{д}}$ — дина дуг.

Полученные результаты подтверждаются экспериментальными исследованиями [2].

Литература

1. Макаров А.Н., Соколов А.Ю., Луговой Ю.А. Повышение КПД дуг путем устранения их электромагнитного выдувания в электросталеплавильных печах. Часть 1. Влияние электромагнитного выдувания и высоты шлака на КПД дуг в ДСП // Электromеталлургия. 2011. № 4. С. 12—18.
2. Кузнецов М.С. Влияние массы металлошихты и толщины шлака на технологию выплавки стали в дуговой печи // Электromеталлургия. 2010. № 2. С. 2—6.

А.А. Сокуренок, студ.; рук. А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА КРУГЛОЙ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ

В современном кабельном производстве применяются технологические процессы нагрева медной проволоки до различных температур. В докладе рассмотрен процесс нагрева круглой медной проволоки в индукторе до температуры 340 °С для размягчения и склеивания предварительно нанесенных на проволоку слоев полиамидно-фторопластовой пленки. Расчет оптимального режима нагрева выполнен путем компьютерного моделирования в программном комплексе *ELCUT*, который позволяет моделировать электромагнитные и тепловые процессы с использованием метода конечных элементов [1].

Разработана компьютерная модель, описывающая систему «индуктор-загрузка» (рис. 1). Загрузкой является проволока диаметром 10 мм, индуктор выполнен в виде катушки с 38 витками диаметром 60 мм из медной трубки диаметром 18 мм. Частота тока индуктора 10—50 кГц.

По результатам расчетов проведен анализ электромагнитных и тепловых процессов, в частности определены конфигурации магнитных и температурных полей, а также электрические и энергетические характеристики системы «индуктор—загрузка». Благодаря широким возможностям комплекса *ELCUT* разработанная модель может быть использована для поиска оптимального режима работы индукционной установки по ряду параметров: скорости нагрева, потребления электроэнергии, конструкции индуктора и др.

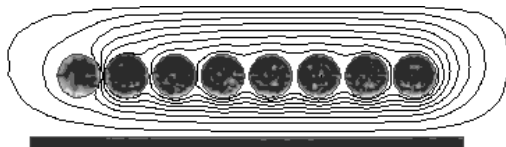


Рис. 1. Магнитное поле переменных токов в индукторе (упрощенная модель)

Литература

1. **Установки** индукционного нагрева / А.Е. Слухоцкий, В.С. Немков, Н.А. Павлов, А.В. Бамунэр; под ред. А.Е. Слухоцкого. — Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. —328 с.

М.С. Туляков, асп.; рук-ли А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф.;
М.А. Федин, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ТРУБЫ

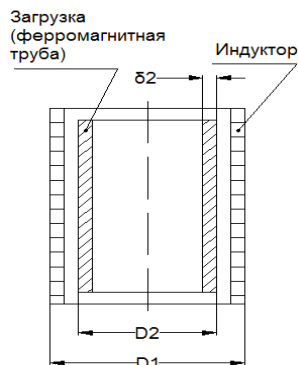


Рис. 1. Цилиндрическая система индуктор – загрузка (эскиз)

Низкотемпературные индукционные печи косвенного нагрева состоят из стального корпуса (часто, трубы) и охватывающего индуктора. Печи применяются для сушки изоляции, лакокрасочных покрытий или древесины, а также других технологических процессов и отличаются простотой и большим ресурсом работы [1]. При расчете электрических характеристик таких печей возникает ряд трудностей, связанных с нелинейностью магнитных свойств ферромагнетика, наличием потерь на гистерезис и, в некоторых случаях, сложностью конфигурации электромагнитного поля. Существующие аналитические методики расчета не обеспечивают требуемой точности,

поэтому перспективной является разработка методики, основанной на использовании компьютерного моделирования. Разработана математическая модель индукционного нагревателя полой цилиндрической заготовки из ферромагнитного материала (рис. 1). Алгоритм расчета основан на использовании электрической схемы замещения системы индуктор—ферромагнитная загрузка [2]. Расчет выполняется итерационным методом, так как активные и реактивные сопротивления схемы замещения ферромагнитной загрузки нелинейно зависят от тока индуктора.

Произведены расчеты типового примера индукционного нагревателя ферромагнитной трубы диаметром $D_2 = 300$ мм и толщиной $\delta_2 = 10$ мм. Проведен анализ результатов расчета предложенным способом и с помощью компьютерного моделирования в программной среде ELCUT, дана оценка адекватности разработанной модели.

Литература

1. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали. М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Математические модели для исследования электромагнитного поля в ферромагнитной проводящей среде с учетом гистерезиса / А.Б. Кувалдин, М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, В.А. Шатов // Электричество. 2005. № 11. С. 57—61.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА

Для обеспечения горячего водоснабжения используются разные типы водонагревателей, при этом одним из наиболее эффективных является водонагреватель трансформаторного типа [1], представляющий собой трансформатор с вторичной обмоткой, выполненной из металлической трубки (нержавеющая сталь), по которой протекает нагреваемая вода. Для определения его характеристик и поиска оптимального варианта конструкции была разработана модель электромагнитной системы индуктор — магнитопровод — загрузка с использованием пакета программ *ELCUT* [2]. Эскиз геометрической модели представлен на рис. 1. Поскольку водонагреватель симметричен, то при расчете использована четверть системы.

Характеристики моделируемого промышленного водонагревателя: частота — 50 Гц, мощность — 150 кВт, ток — 216,5 А, напряжение — 380 В, электрический КПД — 0,98, производительность для быта — 1,05 м³/ч и для промышленности — 0,48 м³/ч (температура нагрева соответственно 55 и 90 °С).

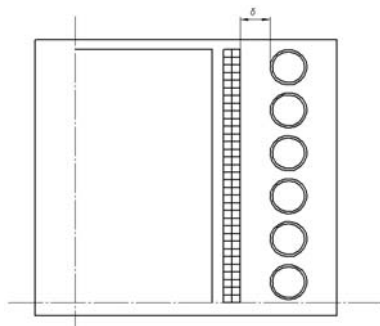


Рис. 1. Геометрическая модель системы индуктор—магнитопровод—загрузка

Разработанная электромагнитная модель и ее различные модификации позволили проанализировать влияние на энергетические характеристики водонагревателя (КПД, $\cos\varphi$) различных параметров: зазора между обмотками (δ), диаметра и толщины трубки, из которой выполнена вторичная обмотка, а также числа витков обмотки и других параметров.

В пакете *ELCUT* была также разработана модель для определения теплотехнических параметров водонагревателя, с помощью которой были выбраны толщина и материал тепловой изоляции и рассчитан тепловой КПД.

Полученные результаты будут использованы при модернизации промышленного водонагревателя.

Литература

1. Сайт Завода индукционных электрических нагревателей: <http://www.zien.ru/>.
2. Кувалдин А.Б. Теория индукционного и диэлектрического нагрева: МЭИ, 1999.

Секция 28

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

Председатель секции — и.о. зав. кафедрой ЭТ,

к.т.н., доцент В.А. Глушенков

Секретарь секции — ассистент М.В. Румянцев

*Е.А. Барина, Д.М. Стрельникова, студенты;
рук. М.Е. Вильбергер, к.т.н., доц. (НГТУ, г. Новосибирск)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ АВТОМОБИЛЯ «ОКА»

В жизни современного общества люди сталкиваются со множеством проблем, в том числе и экономических. Ежедневно на мировом рынке нефти увеличиваются цены на сырье, и, к сожалению, общество не в силах с этим бороться.

На сегодняшний день расход топлива бензиновой микролитражки в городе с учетом пробок, холодной погоды и прочего составляет около 10 л на 100 км. Таким образом, стоимость 1 км ее пробега «по топливу» будет равна стоимости 0,1 л бензина АИ-95, т.е. около 3 руб. Прибегнув к несложным математическим вычислениям, можно легко подсчитать, что стоимость 1 км пробега электромобиля при расходе энергии 0,135 кВт/км составит от 36 до 51 коп., если подзаряжаться днем. А если делать это в ночные часы, когда тариф на электроэнергию ниже, то километр обойдется всего в 9—12 коп.! Экономия только на энергоносителе получается более чем десятикратной!

Очевидно, что использование электродвигателей значительно снижает затраты на передвижение. Тем самым внедрение таких двигателей в повседневную жизнь людей поможет существенно сократить их расходы.

В данной работе представлен более экономичный вид транспорта, такой как электромобиль, созданный на базе автомобиля «Ока». Основные преимущества такого средства передвижения — это отдельная тормозная система, отсутствие сцепления (характеристика крутящего момента позволяет трогаться и разгоняться на одной и той же передаче), оригинальная система противоскольжения. И, конечно, главным преимуществом все же является экономичность «топлива».

Электромобиль располагает к плавной и спокойной езде, но не спасует и в интенсивном городском потоке. Применение электрического привода

делает его нетоксичным и бесшумным транспортным средством. И, наверное, уже сегодня такая «машинка» может обслуживать какие-либо курортные зоны, больничные городки, где особенно вреден выхлоп двигателя внутреннего сгорания. Управление электромобилем значительно проще, чем автомобилем даже с автоматической коробкой передач, и любой «чайник» сможет без труда справиться с «Электро-Окой».

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В связи с нерациональным использованием энергетических ресурсов большое внимание в нашей стране уделяется энергосбережению. Бережное и правильное расходование электрической энергии является одной из важнейших государственных задач, поставленных перед всеми отраслями народного хозяйства страны. Электрический транспорт — крупный потребитель электроэнергии. Наиболее перспективными методами, направленными на снижение энергопотребления, являются: уменьшение веса подвижного состава; снижение удельного расхода энергии, возможного за счет уменьшения сопротивления движению, увеличения КПД двигателей и снижения тормозных и пусковых потерь; переход к тяговым электродвигателям, работающим на переменном токе; использование импульсной системы управления тяговым электродвигателем.

Целью исследования является анализ влияния условий движения городского наземного электрического транспорта на расход электрической энергии, потребляемой на тягу. В качестве объекта исследования был использован троллейбус марки TROLZA 5275, оборудованный тяговым электродвигателем марки ДК-211Б. В работе проведены расчеты для трех режимов движения троллейбуса: «пуск — выбег — торможение», остановка в середине перегона (светофор), движение в плотном транспортном потоке (максимальная скорость 15 км/ч, отсутствие режима выбега). В результате проведенных исследований были получены следующие значения расхода энергии троллейбусом в разных режимах его движения. Из представленных данных следует, что по мере ухудшения условий движения транспортного средства эффективность от внедрения импульсных систем управления возрастает. При движении в плотном транспортном потоке с низкой средней скоростью (движение в «пробке») использование ИСУ позволяет снизить расход энергии на тягу в 2 раза. Вместе с тем необходимо отметить, что при эксплуатации подвижного состава с РКСУ ухудшение условий движения приводит практически к трехкратному увеличению энергопотребления. В связи с этим ожидать эффекта от внедрения ИСУ можно только при условии масштабной модернизации ЭПС с практически полным снятием из эксплуатации транспортных средств с РКСУ.

А.А. Бриедис, студ.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

К ВЫБОРУ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД И ОБМОТК НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЯГОВЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Практически на всех эксплуатируемых и выпускаемых сегодня в РФ электропоездах (ЭП) постоянного тока (ПТ) в качестве источника питания собственных нужд и обмоток независимого возбуждения (ОВ) тяговых машин (ТМ) в режиме рекуперативно-реостатного торможения (РРТ) используются электромашиные преобразователи (ЭМП) напряжения контактной сети в трехфазное переменное с линейным напряжением 220 В. Многолетняя массовая эксплуатация показала их работоспособность, но и подтвердила ожидавшиеся недостатки: высокую стоимость изготовления и ремонтов, низкую надежность и КПД, большие массу и габариты, ограниченную мощность и существенные затраты на обслуживание. Для их устранения предлагалось и частично реализовывалось много технических решений как по совершенствованию ЭМП, так и по созданию статических преобразователей (СП). В частности, завод РЭЗ в последнее время разработал и освоил производство ЭМП нового типа I.ПВ.7.У1 с повышенной до 55 кВт мощностью синхронного генератора, которая у серийных ЭМП составляет только 38 кВт. Это достигнуто за счет существенного усложнения двигателя преобразователя, оснащенного двумя обмотками якоря с двумя коллекторами; есть значительные достижения и в освоении производства СП: совместное предприятие «Трансконвертор» фирмы «Сименс» и Трансмашхолдинга разработало СП типа БСН-80 с мощностью на выходе 80 кВт, половина которой используется для питания ОВ ТМ.

Возможности создания СП в последние годы расширились благодаря освоению производства полупроводниковых вентилях с новыми качествами. В этой работе полезно использовать и результаты разработки СП для партии вагонов метрополитена с НВ ТМ, спроектированных с участием Ленинградского завода им. Егорова, а также созданных с участием Тбилисского электровозостроительного завода (ТЭВЗ) преобразователя для питания ОВ ТМ электровозов ВЛ15.

П.А. Веселов, асп.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ В МЕТРОПОЛИТЕНЕ

Энергию рекуперации в метрополитене возможно использовать тремя способами:

- для питания другого состава на секции, находящегося в режиме тяги;
- для передачи на накопители электроэнергии;
- для передачи во внешнюю сеть.

В первом случае, в отличие от железной дороги, где энергосистема замкнута, в метрополитене вопрос об использовании энергии рекуперации остается открытым, ведь потребителя в виде другого состава в режиме тяги на секции может не оказаться. Особенно этот вопрос актуален для небольших метрополитенов, где интервал движения достаточно большой. В третьем случае из-за сложности решения и актуальности подобного применения ставится под сомнение его целесообразность. Поэтому в настоящее время по всему миру рассматривается вариант применения в метрополитене стационарных накопителей электроэнергии.

Существуют решения как на литий-ионных аккумуляторах, так и на ионисторах. Последние технические решения стационарных накопителей электроэнергии на ионисторах, называемых также суперконденсаторами, обещают дать положительный технико-экономический эффект от рекуперации в метрополитене, так как предлагается вариант реализации энергии рекуперации как с передачей ее в сеть на другой состав, так и, если на участке нет потребителя, с использованием емкостных накопителей, что должно позволить успешно применять рекуперацию и существенно повысить эффективность метрополитена с точки зрения экономии электроэнергии. Для этого предлагается использовать статические накопители на базе ионисторов, установленные на станциях в определенных местах, на относительно минимальном расстоянии на линии от рекуперированного состава.

Статические накопители имеют несомненное преимущество перед установкой накопителей непосредственно в вагоне, так как масса накопителя может достигать до 2 т. Эта идея не является исключительно теоретической, во многих странах, в том числе в России, уже есть прототипы статических накопителей на ионисторах, которые обещают появиться на рынке в ближайшее время, и данная технология уже сможет начать проходить массовые испытания.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАССАЖИРСКОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Согласно плану, установленному Международным советом по изменению климата, к 2050 г. парниковые газы в городах должны сократиться на 50 %. Однако высочайшие темпы урбанизации ведут к тому, что мегаполисы, экономика которых зависит от мобильности жителей, превращаются в эпицентры транспортно-дорожных и, как следствие, экологических проблем. Необходимость внедрения качественно новых и модернизации имеющихся транспортных комплексов обуславливает актуальность задачи по определению оптимальной концепции транспортной системы мегаполиса. На основании анализа предлагаемых в мировой практике решений данного вопроса автором сделан вывод о целесообразности проектирования городов с ориентацией на транспорт: общественный, движущийся по выделенной полосе, надземный, рельсовый. Экологичность достигается за счет применения в качестве транспортного средства (ТС) подвижных единиц (ПЕ) на электрической тяге, альтернативы использования которой в мире на сегодняшний день не существует. Объектом начального этапа исследования явилось ТС, в частности определение его массогабаритных и технических характеристик в рамках оптимизации конструкции надземной эстакадной путевой структуры и анализ удельных расходов энергии на движение.

Основные результаты работы, полученные автором: определен оптимальный вариант конструкции надземной путевой структуры — форма трубопровода, произведены прочностные расчеты с применением имитационных методов FEM, подтверждающие корректность выбранной формы; разработано транспортное средство и определены его массогабаритные показатели в соответствии с принятыми параметрами конструкции путевой структуры; выполнен тягово-энергетический расчет с построением кривых движения расчетно-графическим способом. Полученные результаты удельного расхода энергии на движение превосходят те же показатели для троллейбуса и трамвайного вагона, однако несколько уступают аналогичным характеристикам метрополитена и ЭЖД.

Научная новизна работы заключается в создании основ теории разработки эстакадного пассажирского транспортного комплекса. Рекомендации и выводы могут быть использованы как в научно-исследовательской, так и в практической деятельности (модернизация, реконструкция и проектирование новых маршрутных сетей).

*С.К. Вязовцев, А.В. Ларин, студенты; рук. М.В. Калугин, д.т.н., доц.
(НГТУ, г. Новосибирск)*

ПРОБЛЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОЙ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ НА ГОРОДСКОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ (ТРАМВАЙ)

Описывается проблема использования энергосберегающих технологий на городском электрическом транспорте. Рассмотрены основные проблемы, связанные с применением рекуперативного торможения как основного направления совершенствования системы электроснабжения для получения экономии энергии. Для линии скоростного трамвая выполнена оценка избыточной энергии рекуперации, которая подтверждает необходимость и целесообразность использования энергии электрических торможений.

В раках большого города энергоёмкость электрического транспорта достаточно велика, что при постоянном удорожании энергоносителей является основной причиной убыточности транспортных предприятий, специализирующихся на пассажирских перевозках. Как следствие, возникает интерес к внедрению энергосберегающих технологий. Активное применение рекуперативного торможения на городском электрическом транспорте предоставляет наиболее эффективную возможность получения экономии электроэнергии в размерах от 15 до 30 % общих затрат на рекуперацию [1]. Основной причиной этого является определенное усложнение электрического оборудования подвижного состава и режимов его работы, повышение уровня напряжения в тяговой сети.

Еще одной проблемой, связанной с эффективностью применения рекуперации, является реализация энергии в те интервалы времени, когда на линии отсутствуют потребители [2]. Энергия рекуперирующего подвижного состава, не находящая потребителей, носит название «избыточная энергия рекуперации».

Литература

1. **Личев Д.О.** Повышение работоспособности технических средств городского электрического транспорта // Материалы III Всеукр. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы и нормативно-правовое обеспечение энерго-, ресурсосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве». — Алушта, 2006. — С. 73—76.
2. **Гордиенко О.С.**, Математическое моделирование энергопотребления в КП «Краматорские ТТУ» // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Устойчивое развитие городов. Электрический транспорт — перспективы развития и кадровое обеспечение». — Харьков: ХНАМГ, 2009. — С. 19—20.

Ю.Ю. Демиденко, студ.; рук. Т.М. Савина, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРЕВОД СИСТЕМЫ ВНЕШНЕГО ПИТАНИЯ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ 10 кВ НА СИСТЕМУ ПИТАНИЯ 20 кВ

В связи с ростом населения современных городов постоянно увеличивается объем пассажирских перевозок и тем самым повышается роль городского транспорта. Современная тяговая подстанция представляет собой сложное электротехническое сооружение, оснащенное силовым, преобразовательным, коммутационным и релейным оборудованием. С развитием народного хозяйства требуются увеличение производства электроэнергии, повышение ее качества и всемерное энергосбережения.

Все это можно обеспечить с помощью внедрения подстанций с внешним питанием 20 кВ, двенадцатипульсным полупроводниковым выпрямителем и трансформатором с расщепленной обмоткой. Преимущества будут заключаться в том, что по сравнению с обычными подстанциями с внешним питанием 10 кВ у подстанций с внешним питанием 20 кВ меньшие потери напряжения, большая выгода в экономическом плане (из-за сниженных потерь напряжения).

Преимущества при использовании двенадцатипульсного полупроводникового выпрямителя по сравнению с шестипульсным: увеличение КПД; повышение коэффициента мощности тяговой подстанции до 0,97—0,98; уменьшение потерь в контактной сети и снижение потребления реактивной энергии; повышение качества электрической энергии как в первичной, так и в тяговой системе электроснабжения.

Преимущества трансформатора с расщепленной обмоткой (ВН — 20 кВ, НН — 935 В): не нужно ставить два понижающих трансформатора (делать две ступени понижения напряжения); экономия материалов; снижение потерь.

В ходе работы исследовался участок Люблинско-Дмитровской линии метрополитена. Были установлены интенсивность движения, рассчитана тяговая нагрузка, получены значения токов КЗ на шинах 20 кВ. Были выбраны электрические аппараты преобразования энергии, защиты кабелей от тока КЗ. При сравнении экономической эффективности систем внешнего питания 20 кВ (с двенадцатипульсным выпрямителем) с системой 10 кВ было выявлено, что использование данной системы выгодно в экономическом и техническом отношении.

*Д.С. Дмитрушина, А.И. Журавель, студенты;
рук. М.Е. Вильбергер, к.т.н. (НГТУ, г. Новосибирск)*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА РАБОТУ МЕТРОПОЛИТЕНА

В настоящее время остается актуальным вопрос снижения затрат на электрическую энергию путем улучшения технико-экономических показателей системы тягового электроснабжения, в частности выпрямителей тяговых подстанций. Это вызвано, прежде всего, возросшими требованиями, предъявляемыми к качеству электрической энергии, проблемами электромагнитной совместимости, удорожанием электрической энергии. Надежность и экономичность работы тяговых подстанций во многом определяются типом принятого выпрямителя.

Исторически сложилось так, что до последнего времени применялись выпрямители, включенные по так называемым 6-пульсным схемам. Такие схемы имеют существенные недостатки: относительно низкий коэффициент мощности, искаженная форма кривой потребляемого тока и, как следствие, низкое качество электрической энергии. Технико-экономическую эффективность тяговых подстанций можно повысить с помощью двенадцатипульсных выпрямителей [1, 2].

Исследования многопульсных выпрямителей и оценка их экономичности, при допущениях симметричности и синусоидальности питающих трехфазных напряжений, не являются достаточными и не позволяют оценить их влияние в полной мере на устройства сигнализации, централизации, блокировки и связи и устройства электроподвижного состава. Поэтому огромный интерес должны вызывать разработки и исследования многопульсных выпрямителей, сочетающих в себе экономичность преобразования, простоту и надежность схемных построений при работе в условиях несимметричных и несинусоидальных напряжений питающей сети.

Литература

1. **Личев Д.О.** Повышение работоспособности технических средств городского электрического транспорта // Материалы III Всеукр. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы и нормативно-правовое обеспечение энерго-, ресурсосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве». Алушта, 2006. — С. 73—76.

2. **Гордиенко О.С.**, Математическое моделирование энергопотребления в КП «Краматорские ТТУ» // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Устойчивое развитие городов. Электрический транспорт — перспективы развития и кадровое обеспечение». Харьков: ХНАМГ, 2009. — С. 19—20.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПЕРЕДАЧА ГАЗОТУРБОВОЗА

Важная тенденция развития современных магистральных локомотивов — это повышение эффективности за счет увеличения их мощности при возможном улучшении массогабаритных и экономических показателей. Применение передачи переменного-постоянного тока, включающей синхронный генератор, выпрямитель и двигатели постоянного тока, для больших мощностей уже не обеспечивает получения приемлемых характеристик. Кроме того, дальнейшее повышение мощности коллекторных тяговых двигателей приведет к существенному снижению эксплуатационной надежности, особенно в северных и восточных районах России.

Газотурбинные двигатели со свободной турбиной, частота вращения которой может изменяться в широких пределах при сохранении мощности на достаточном уровне, открывают широкие возможности для создания электропередачи переменного-переменного тока (с асинхронными тяговыми двигателями (АТД)) без промежуточных преобразователей. Это позволит не только уменьшить массу электрооборудования, но и получить выигрыш по КПД передачи и значительно повысить надежность ее работы.

Форма тяговой характеристики локомотива в указанной системе повторяет форму моментной характеристики свободной турбины и может заметно отличаться от желательной (гиперболической). Экономичность работы такой передачи несколько снижается по мере удаления рабочего режима от зоны сохранения постоянной мощности.

Для устранения этого недостатка возможно применение полюсопереключаемой передачи переменного-переменного тока, в которой изменение числа полюсов электрических машин позволит несколько раз повторить участки тяговой характеристики локомотива с реализацией постоянной мощности. В МЭИ разработана для макетного локомотива и испытана совместно с ВНИКТИ полюсопереключаемая электропередача с принципиально новой схемой, позволяющей производить переключение полюсов без коммутаций силовой тяговой цепи, что существенно сокращает массу и объем коммутационной аппаратуры, повышает надежность и сохраняет приемлемую силу тяги в процессе переключения полюсов. Данная передача включает синхронный генератор и несколько АТД особой конструкции. Для автоматического управления автономным транспортным средством с такой передачей необходимо разрабатывать логические управляющие схемы переключения полюсов по требуемому алгоритму.

Цель данной работы — рассмотрение общей схемы полюсопереключаемой передачи, этапов создания логической схемы управления данной передачей и разработка специальной системы для обучения специалистов по проектированию подобных логических управляющих схем.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ НА ГОРОДСКОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Применение рекуперативного торможения на городском электрическом транспорте предоставляет наиболее эффективную возможность получения экономии электроэнергии. До настоящего времени возможности рекуперации используются далеко не в полной мере. Основными причинами этого являются усложнение электрического оборудования подвижного состава и режимов его работы, повышение уровня напряжения в тяговой сети, в связи с чем можно ожидать увеличения числа отказов оборудования на подвижном составе и, как следствие, снижения надежности работы транспортно-портной системы.

Энергия рекуперирующего подвижного состава, не находящая потребителей, носит название «избыточная энергия рекуперации». Это явление снижает эффективность рекуперации, если не пытаться использовать эту энергию с пользой. На практике нашли применение несколько способов использования избыточной энергии рекуперации:

- передать другому подвижному составу, который находится поблизости и работает в режиме тяги;
- запасти эту энергию в накопительных элементах, которые могут устанавливаться либо на подвижном составе, либо на тяговой подстанции;
- передать электроэнергию на ближайшую тяговую подстанцию, на которой установлен выпрямительно-инверторный статический преобразователь, и затем в первичную питающую сеть.

Накопители на базе конденсаторов двойного электрического слоя представляют собой наиболее эффективный тип накопителя, который способен в полном объеме аккумулировать энергию электрических торможений.

Использование накопителей энергии на ЭПС целесообразнее, чем в системе тягового электроснабжения (в к.с. или на тяговых подстанциях), так как помимо значительных затрат на оснащение подстанций этими преобразователями велики потери в инверторе и в контактной сети.

Экономический расчет показал, что при малых объемах движения потери на передачу избыточной энергии рекуперации на тяговую подстанцию примерно равны объему избыточной энергии рекуперации, что делает неэффективной установку каких-либо приемников энергии рекуперации на тяговых подстанциях. В этом случае целесообразнее использовать накопители на подвижном составе. Однако при больших объемах движения потери энергии рекуперации становятся меньше, таким образом, с учетом капиталовложений в установку накопителей на подвижной состав, становится обоснованным их использование на тяговых подстанциях.

В.Ю. Карамнова, студ.; рук. В.Г. Комаров, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧАСТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЛИНИИ

Система электроснабжения должна учитывать особенности автоматической транспортной системы:

- полностью автоматизированное управление транспортными средствами с разработкой оптимальных маршрутов и взиманием платы за проезд.

- во время пути транспортные средства могут контролировать скорость и положение друг друга, следовательно, можно значительно сократить риск несчастных случаев. Все средства передвигаются с использованием исключительно электроэнергии;

- для автоматического транспорта должны быть созданы специальные пути, которые не будут пересекаться с основными городскими и пригородными путями (т.е. не будут мешать основному, «традиционному» потоку);

- для автоматических транспортных средств будут созданы специальные станции, где свободные транспортные средства и будут дожидаться своих пассажиров. Эти станции должны быть легко доступны для пассажиров;

- транспортные средства предназначены для использования одним человеком или небольшой группой. Отсутствие расписания и фиксированного маршрута, отсутствие перекрестков, на которых ТС может ждать своей очереди. Непрерывность транспортного потока.

Представлена модель, характеризующая работу автоматической транспортной линии. Модель учитывает составляющие сопротивления движению. Из модели получены графики зависимостей $f(t)$; $v(t)$; $s(t)$.

Были выбраны преобразовательный агрегат и силовые коммутационные аппараты. Был произведен расчет токов короткого замыкания (КЗ) и переходных процессов, была разработана двухагрегатная тяговая подстанция для обеспечения электроснабжения участка автоматической транспортной линии [1].

Литература

1. **Савина Т.И., Чибисов А.Н., Осипов В.Е.** Методические указания к курсовому проектированию по курсу «Тяговые подстанции городского электрического транспорта». М.: Издательство МЭИ, 1986.

*Л.Н. Киснеева, А.М. Вдовин, А.В. Попов, аспиранты;
рук. Р.Г. Идиятуллин, д.т.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ РАЦИОНАЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Задачей исследования является — повышение эффективности использования электрической энергии, расходуемой на тягу подвижного состава (ПС). При этом объектами исследования являются как режимы движения ПС на участке пути, так и работа перевозки пассажиров на маршруте. Актуальность данного исследования обусловлена огромными затратами на электроэнергию, потребляемую городским транспортом. Достаточно отметить, что для парка ПС численностью 300—500 единиц затраты могут составлять 1,5 млрд руб. в год [1, 2].

В работе выполнено математическое моделирование режимов нагружения тягового привода трамвая. Разработаны алгоритмы режима разгона ПС, выбега, торможения с учетом сопротивления движению. Проведена проверка адекватности математического аппарата расчета рациональных режимов движения ПС [3].

Для выполнения работы был разработан прибор «навигатор» он позволяет определять местонахождение трамвая на участке движения. Координаты положения трамвая в процессе его движения определяются при помощи системы ГЛОНАСС. Система устанавливается на верхней части кабины трамвая. На панели пульты управления трамвая монтируется дисплей. Он показывает скорость движения трамвая и координаты.

Были проведены многочисленные экспериментальные исследования режимов движения ПС в различных городах РФ. Обработка результатов экспериментальных исследований с использованием методов теории вероятностей и математической статистики дали возможность определить основные характеристики параметров движения — математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение скорости, ускорения трамвая, а также длины участков движения. Было установлено следующее — рациональное нагружение ПС позволит снизить на отдельных участках движения до 15 % электроэнергии, а срок окупаемости внедрения данной системы в эксплуатации равен 1,5 года.

Литература

1. Идиятуллин Р.Г., Клевцов С. Н., Аухадеев А.Э. Тяговые характеристики подвижного состава. Волгоград: Панорама, 2007.
2. Бакиров А. Р. Разработка методики расчета эксплуатационных режимов тяговых электродвигателей трамвая. Казань: КГЭУ, 2003.
3. Слепцов М.А. Методы и средства снижения потерь электроэнергии в подсистеме электрического транспорта // Вестник МЭИ. 2002. №5.

М.А. Комарова, студ.; рук. М.А. Слепцов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧАСТКА СКОРОСТНОГО ТРАМВАЯ

Скоростной трамвай — разновидность наземного либо наземно-подземного легкорельсового транспорта, регулярный скоростной внеуличный вид городского пассажирского транспорта, развивающий скорость до 70 км/ч (и более). Трамвай — единственный вид транспорта, который допустим на пешеходных улицах, так как траектория его движения предсказуема.

Скоростной трамвай совмещает в себе преимущества как метро, так и обычного трамвая:

- сравнительная дешевизна строительства;
- простота и низкая себестоимость эксплуатации имеющихся трамвайных вагонов, путевого хозяйства и объектов энергоснабжения;
- высокая скорость сообщения;
- большая степень надежности и комфортабельности;
- почти полное отсутствие помех другим видам городского транспорта.

Рассмотрены возможные линии скоростного трамвая в Москве, которые могут создаваться в разных районах города на трассах с наиболее интенсивным пассажиропотоком как путем модернизации уже существующих линий трамвая, так и строительством новых участков.

Описаны различные модели подвижного состава, и выбран вариант, отвечающий требованиям, предъявляемым к подвижному составу.

Выбраны преобразовательный агрегат и силовые коммутационные аппараты. Произведен расчет токов короткого замыкания и переходных процессов, разработана двухагрегатная тяговая подстанция для обеспечения электроснабжения участка скоростного трамвая [1].

Литература

1. **Загайнов Н.А.** Тяговые подстанции городского электрического транспорта. М.: Высш. шк., 1970.

Ю.Э. Корчинский, асп.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ МОТОРНОГО ВАГОНА МЕТРОПОЛИТЕНА

На сегодняшний день используемые в метрополитене моторные вагоны (МВ) электропоездов (ЭП) с тяговым электроприводом (ТЭП) постоянного тока (ПТ) оборудованы контакторно-резисторной системой управления (КРУ), предназначенной для регулирования токов якорей тяговых машин (ТМ). Эта система была разработана еще в 60-е годы прошлого века, и с того времени по сей день в ней используются кулачковые реостатные контроллеры ЭКГ — электрические контакторы групповые. Наряду с преимуществами, такими как простота конструкции, ТЭП с КРУ обладает определенными недостатками. Вследствие особенностей работы в условиях метрополитена такая система имеет низкую надежность при эксплуатации, медленное регулирование и трудность безынерционного переключения из режима тяги в режим торможения и наоборот, малое число ступеней регулирования сопротивления пуско-тормозного резистора (ПТР). Эти недостатки могут быть устранены заменой кулачкового ЭКГ электронным, с переключением ступеней ПТР с помощью тиристорov или транзисторов.

Применение ТЭП с тиристорно-реостатным контроллером (ТРК) позволит увеличить его надежность, а также реализовать его быстрodeйствие, обеспечивающее улучшение динамических характеристик при пусках и торможениях за счет возможности включения режима тяги (торможения) сразу на нужной группировке тяговых машин (ТМ) и любой позиции ТРК в зависимости от скорости движения. Современные тиристоры имеют низкие потери во включенном состоянии, обладают высокой перегрузочной способностью, а также высокой надежностью. Схема с ТРК была разработана в МЭИ и испытана в опытных поездках сначала на модернизируемых эксплуатируемых, а затем на партии из четырех вновь изготовленных МВ типов 81-820.1 и 81-721.1. Испытания подтвердили ожидавшиеся преимущества ТРК. В частности, на испытанных МВ с помощью верньерной схемы с 14 тиристорами было получено 48 пусковых ступеней, т.е. практически плавное регулирование силы тяги. Однако производство МВ с использованием ТРК по субъективным причинам было заблокировано — якобы вследствие высочайшей эффективности и простоты освоения производства вагонов с ТЭП второго поколения с импульсным управлением.

В начале 2000-х годов в разработках ООО «ТОМАК,Лтд» эффективность использования ТРК на МВ метрополитена была подтверждена. Сегодня большая часть МВ метрополитена и практически все МВ наземных ЭП могут быть модернизированы с заменой кулачковых РК на полупроводниковые. В МЭИ выполнены исследования по оценке эффективности вариантов такой модернизации и разработаны соответствующие схемы.

Ле Суан Хонг, асп.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА В ГОРОДЕ ХО ШИ МИНЕ (ВЬЕТНАМ)

В городе Хо Ши Мине (Вьетнам) строится метрополитен, но система тягового привода его поезда еще не выбрана. Поэтому оценка эффективности альтернативных систем тягового электропривода (ТЭП) поездов метрополитена в условиях эксплуатации в метрополитенах Вьетнама весьма актуальна.

При оценке ТЭП необходимо учесть их основные технико-экономические показатели: стоимость, расход ими электроэнергии на выполнение одной и той же работы, динамические показатели, надежность и затраты на обслуживание в эксплуатации и ремонты.

Предварительные оценки показателей ТЭП с тяговыми машинами постоянного тока (ТМ ПТ) и с асинхронными тяговыми машинами (АТМ) позволяют утверждать, что:

- реальные технико-экономические показатели электроподвижного состава с асинхронными тяговыми машинами много хуже прогнозирувавшихся при обосновании его высокой эффективности и необходимости повсеместного применения;

- энергетические показатели системы ТЭП электропоездов метрополитена (ЭПМ) с ТМ ПТ и ее надежность могут быть существенно улучшены при оборудовании их рекуперативным тормозом, энергосберегающим алгоритмом управления в тяге и тиристорным реостатным контроллером;

- еще в публикациях В.А. Мнацаканова утверждается, что применение в разработанной МЭИ системе ТЭП бесконтактного реостатного контроллера на базе полупроводниковых вентилях повышает надежность ЭПМ с ТМ ПТ до уровня, существенно превышающего этот показатель поездов с АТМ.

В целом предварительные исследования показывают, что использование на ЭПМ г. Хо Ши Мина энергосберегающей системы ТЭП с ТМ ПТ [1], опробованной в Мосметрополитене на пяти опытных вагонах имеет ряд преимуществ перед системой ТЭП с АТМ.

Литература

1. **Схема** силовых цепей вагонов метрополитена с независимым возбуждением тяговых машин и тиристорным реостатным контроллером / В.Д. Тулупов, А.П. Марченков, С.И. Кабанец и др. // Труды МЭИ. 1992. Вып. 641. С. 36—45.

Е.С. Малько, студ.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД И ОБМОТОК НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЯГОВЫХ МАШИН МОТОРНЫХ ВАГОНОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОРМОЖЕНИЕМ

Вследствие ряда объективных причин, а также выполнения ошибочных рекомендаций отраслевого института ВНИИЖТ по выбору систем тягового электропривода (ТЭП) для перспективных моторных вагонов (МВ) постоянного тока (ПТ) в ближайшее время все эксплуатируемые и выпускаемые в России МВ ПТ будут оборудованы однотипной энергоемкой в условиях эксплуатации системой ТЭП с рекуперативно-реостатным торможением (РРТ) и постоянным последовательным включением всех четырех тяговых машин (ТМ).

Создавшееся положение является следствием следующих обстоятельств: ЭП предшествующих серий ЭР1 и ЭР2 имели ТЭП с двухступенчатым пуском с перегруппировкой ТМ и напряжением на коллекторах до 2 кВ, что и предопределило все их недостатки: низкие тягово-энергетические показатели из-за отсутствия рекуперативного торможения, плохую динамику пуска, малую мощность ТМ и высокую аварийность электрического оборудования. Для устранения недостатков ЭП типа ЭР2 МЭИ предложил и совместно с РЭЗ разработал систему ТЭП с одноступенчатым пуском и РРТ, которая при прогнозирувавшемся ВНИИЖТом увеличении технической скорости движения до 72 км/ч обеспечивала уменьшение расхода энергии до 30 % при одновременном улучшении динамики и надежности ЭП. Однако скорости движения ЭП изменились мало, и реально новые, выпускаемые с 1982 г., ЭП не дают экономии энергии.

Для преодоления выявившегося недостатка новых электроприводов МЭИ совместно с РЭЗ предложили схему с реализацией двухступенчатого пуска путем объединения схем силовых цепей двух МВ одним проводом в так называемую сплотку. Многократные испытания опытных ЭП с такой энергосберегающей (ЭС) системой ТЭП показали возможность уменьшения расхода энергии на 30—35 %.

Тем не менее массовое внедрение ЭС ТЭП не организовано до сих пор из-за противодействия ВНИИЖТа, предлагающего вернуться к применению высоковольтных ТМ со всеми их недостатками. Эта схема, как и другие, не может быть использована для модернизации эксплуатируемых ЭП. Поэтому необходимо оценить возможности улучшения показателей ЭП с ЭС ТЭП, одной из которых является рассмотренное в докладе применение независимого возбуждения ТМ.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ

Одним из важнейших функциональных узлов в гибридном транспортном средстве (ТС) является накопитель энергии, который осуществляет питание электрического двигателя в зависимости от режима движения. В наше время широкое применение в конструкциях гибридных ТС получили электрохимические накопители энергии (ЭХН). При проектировании необходимо учитывать, что накопитель энергии должен обладать оптимальными свойствами при небольших массогабаритных показателях, которые обеспечиваются большой удельной энергией и высокой удельной мощностью. Целью работы является сравнительный анализ по выделенным критериям современных ЭХН для снижения общих энергозатрат на движение гибридного ТС.

Поставленные задачи: обозначить критерии для проведения анализа аккумуляторных батарей (АБ); провести анализ современных АБ по выделенным критериям с учетом массогабаритных и энергетических показателей; использовать математическую модель для расчета динамических показателей движения гибридомобиля на основе перспективных видов АБ.

Из всего многообразия АБ наиболее распространенными являются: кислотные (свинцово-кислотные), щелочные (NiCd и Ni-MH), литиевые. В работе проведен сравнительный обзор ЭХН следующих типов: свинцово-кислотных (PbSO_4) АБ; никель-металлогидридных (Ni-MH) АБ; литий-ионных (Li-ion) АБ; литий-полимерных (Li-pol) АБ; серебряно-цинковых (AgZn) АБ. На основе полученных данных выбран тип ЭХН — литий-ионная АБ, обладающая такими преимуществами, как высокая энергетическая плотность, низкий саморазряд, отсутствие эффекта памяти, простота обслуживания. Из всех типов литиевых аккумуляторов найдены коммерческие образцы батарей, разработанные фирмой Envia Systems. Данный тип батарей имеет удельную емкость 400 Вт·ч/кг.

В результате проведенных расчетов установлено, что применение данного типа ЭХН позволит увеличить автономность хода на 40 %, повысить динамику транспортного средства при снижении массы на 80 %, что в значительной мере повышает конкурентоспособность гибридного транспортного средства по сравнению с транспортными средствами исключительно на ДВС.

САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ НАПОЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С КАБЕЛЬНЫМ ПИТАНИЕМ ОТ ЭЛЕКТРОСЕТИ

В данной работе рассматривается САУ электроприводом передвижения напольного транспортного средства [1] со связями по току и напряжению электродвигателя последовательного возбуждения с учетом упругого взаимодействия между массами транспортного средства и транспортируемого груза.

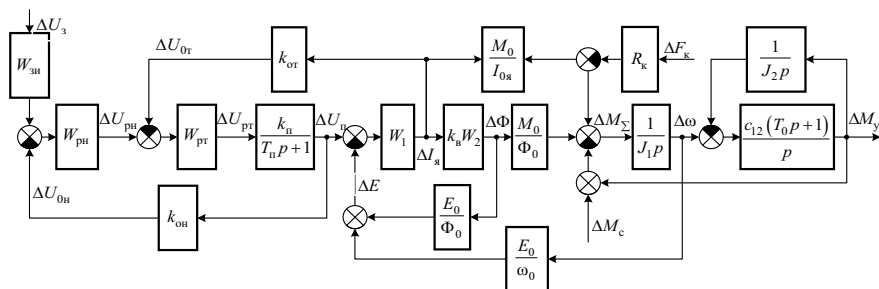


Рис. 1. Структурная схема системы управления электроприводом

На схеме: $k_{от}$, $k_{он}$, $k_{п}$, $k_{в}$ — коэффициенты передачи ОС по току и напряжению; преобразователя напряжения и цепи возбуждения; $T_{п}$ — постоянная времени преобразователя, $W_{зи}(p)$, $W_{рн}(p)$, $W_{рп}(p)$ — передаточные функции датчика интенсивности, регуляторов напряжения и тока. M_0 , Φ_0 , E_0 , ω_0 , $I_{0я}$ — установившиеся значения момента, магнитного потока, ЭДС, угловой частоты вращения и тока якоря электродвигателя, относительно которых произведена линеаризация. $W_1(p)$, $W_2(p)$ — передаточные функции составляющие модель электродвигателя [2]. J_1 , J_2 — моменты инерции масс, транспортного средства и транспортируемого груза; c'_{12} — жесткость связи между ними; T_0 — постоянная времени, характеризующаяся усилиями упругого взаимодействия между массами.

Литература

1. Пат. 2185296 RU, МКИ60L9/00. Устройство для электроснабжения и управления безрельсовым транспортом. / В.И. Котенев, А.В. Котенев № 2000131771/28; Заявлено 18.12.2000; Опубл. 20.07.2002 // Бюл. №20. — 5 с.
2. Котенев А.В. Математические модели двигателей постоянного тока при быстрых изменениях магнитного потока // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». 2004. № 24. — С. 167—171.

*Е.С. Новикова, студ.; рук. М.В. Калугин, д.т.н., доц.
(НГТУ, г. Новосибирск)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Электрифицированный транспорт является крупным потребителем электрической энергии, удельный вес которого в общем потреблении страны возрастает с каждым годом, поэтому весьма существенное значение приобретает всемерная экономия энергии при движении поездов. Работа, совершаемая тяговыми двигателями по преодолению сопротивления движению подвижного состава, составляет значительную (40—50 %) часть полезной работы, поэтому величина его оказывает большое влияние на потребление энергии при движении подвижного состава. Величина сопротивления движению в значительной степени влияет на расход электроэнергии и одновременно определяет техническое состояние подвижного состава и путевого хозяйства.

Повышенное сопротивление движению имеет подвижной состав с плохо отрегулированными тормозами, повышенным трением в элементах тягового привода и ходовой части. Высокое удельное сопротивление движению приводит к повышенному износу трущихся частей и является сигналом к тому, что необходимо провести проверку их регулировки и смазки. Приближенные расчеты показывают, что снижение удельного сопротивления движению на 1 % дает снижение расхода электрической энергии на движение примерно на 0,4 %.

Таким образом, имеются значительные резервы по снижению расхода электроэнергии за счет улучшения технического состояния подвижного состава. Однако сопротивление движению в настоящее время не контролируется в связи со сложностью известных технологий.

В ходе исследований были проанализированы все известные методы и средства контроля сопротивления движению. В результате было разработано бортовое устройство на базе интегрального акселерометра, позволяющее проводить непрерывный контроль и регистрацию данного параметра. Такое решение позволит до минимума сократить время эксплуатации подвижного состава с повышенным сопротивлением движению и, следовательно, значительно снизить расход энергии.

*А.Н. Пьяных, А.А. Маликова, студенты; рук. Н.И. Щуров, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Новосибирск)*

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Электрический транспорт является энергоемким потребителем электрической энергии, что в значительной мере актуализирует необходимость рассмотрения принципов энергосбережения. Одно из перспективных направлений повышения эффективности электрического транспорта — создание и внедрение новых современных технологий в области тягового электропривода подвижного состава, способствующих, в частности, снижению расхода электроэнергии, затрачиваемой на движение транспортных средств, внедрению энергосберегающих технологий, направленных на эффективное использование энергии рекуперативного торможения.

Применение накопителей энергии на подвижном составе обеспечивает значительный вклад в эффективное использование энергии торможения. Большинство транспортных средств оборудованы электрохимическими накопителями для хранения энергии. Аккумуляторы должны иметь высокие удельные энергетические показатели [1]. При проектировании аккумулятора невозможно одновременно добиться оптимального показателя как по энергоемкости, так и по энергоотдаче. Для увеличения автономного хода транспортного средства предлагается использовать гибридный накопитель электрической энергии — суперконденсатор в сочетании с блоком аккумуляторов. При таком техническом решении использование свойств аккумуляторов может обеспечиваться в полной мере, чем достигаются сохранение его работоспособности и увеличение жизненного цикла. Включение суперконденсаторов способствует распределению во времени накопления энергии, полученной в виде пикового броска при рекуперативном торможении.

В ходе исследований проведен анализ развития автономного электрического транспорта. Выявлено, что наилучшим накопителем для электрического транспорта является гибридный накопитель энергии, состоящий из химического источника тока и конденсатора двойного электрического слоя. Расчеты показали, что система тягового электропривода с гибридным накопителем энергии позволяет обеспечить высокие динамические показатели городского электрического транспорта при значительном запасе автономного хода.

Литература

1. **Накопители** энергии / Д.А. Бут, Б.Л. Алиевский, С.Р. Мизюрин, П.В. Васюкевич; под ред. Д.А. Бута. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 398 с.

А.В. Тулупов, асп.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НЕОБХОДИМОСТИ МАССОВОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Более 40 лет назад МЭИ предложил использовать на электропоездах (ЭП) постоянного тока (ПТ) систему тягового электропривода (ТЭП) с постоянным последовательным соединением всех четырех тяговых машин (ТМ), что вдвое уменьшало напряжение на коллекторах ТМ по отношению к эксплуатирувавшимся на тот момент ЭП с перегруппировкой ТМ с последовательного соединения в начале пуска в схему с двумя параллельными ветвями по две последовательно включенные ТМ. Это обеспечивало резкое улучшение тягово-энергетических и динамических показателей ЭП за счет применения рекуперативного торможения и резкого увеличения ускорений при пуске благодаря возможности применения более глубокого ослабления поля. При прогнозирувавшемся ВНИИЖТом увеличении технической скорости движения ориентировочно с 50 до 70 км/ч это обеспечивало снижению потребления энергии из тяговой сети поездами с предложенной системой ТЭП на 30—50 %. Серийное производство таких ЭП было освоено в начале 80-х годов прошлого века. Однако прогнозирувавшегося ВНИИЖТом роста технической скорости не произошло, а при прежнем ее уровне расход энергии практически не уменьшился из-за увеличения реостатных потерь и низкой эффективности рекуперации.

Для преодоления выявившегося недостатка МЭИ предложил реализовать перегруппировку ТМ за счет объединения схем силовых цепей двух моторных вагонов (МВ) с помощью одного межвагонного соединения в так называемую сплотку. Такая схема была опробована на модернизированных ЭП и подтвердила возможность снижения расхода ими электроэнергии на 30—35 % по отношению к серийным при существующем уровне скоростей движения. Однако массового внедрения этой энергосберегающей системы по различным причинам не произошло. В результате сегодня практически все ЭП ПТ оборудованы энергоемкой системой ТЭП, которая без больших затрат и усложнения электрооборудования может быть модернизирована в энергосберегающую. Это обеспечит ОАО «РЖД» (при использовании ее на всех ЭП) снижение затрат на оплату электроэнергии более чем на 1 млрд руб. в год. Другие варианты модернизации эксплуатируемых ЭП практически отсутствуют.

ТЯГОВЫЙ ПРИВОД ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

В связи с проблемами экологии городов и глобальными климатическими нарушениями многие высокоразвитые страны поддерживают внедрение в автомобильный рынок нового вида транспортных средств — электромобилей.

Тяговые расчеты современных электромобилей, как и расчеты их составных частей, проводятся автоматизированно. Одним из методов автоматизирования расчетов является применение пакета MatLab и его модуля Simulink. Используя прикладные средства расчета, в MatLab можно смоделировать каждый функциональный узел транспортного средства и изучить работу системы в целом при различных режимах работы.

Был смоделирован привод электромобиля на основе бесконтактного двигателя постоянного тока (БДПТ). В качестве накопителя были использованы современные Li-ion батареи и конденсаторные модули на основе выходных характеристик реальных элементов. В ходе работы были изучены различные способы комбинации накопителей для режимов тяги и рекуперации. Подача энергии к тяговому приводу и обработка обратных сигналов осуществлялись по упрощенной схеме с использованием выпрямительно-инверторного преобразователя.

В качестве расчетного цикла и для определения основных параметров транспортного средства применялся стандартный европейский цикл.

С помощью прикладных средств MatLab можно отлеживать вольт-амперные характеристики отдельных узлов при различных нагрузках на систему.

По результатам экспериментов привод на основе БДПТ показал себя как надежная и перспективная замена классическим двигателям постоянного тока для персональных транспортных средств.

Направление
ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Научный руководитель направления —

Зав. каф. ИЭиОТ, к.т.н.,
О.Е. Кондратьева

Секция 29

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Председатель секции — зав. каф. ИЭиОТ,

к.т.н. О.Е. Кондратьева

Секретарь секции — ведущий инженер В.В. Трифонов

Д.Ю. Бурыйкин, студ.; рук. Л.А. Коваленко, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ НАКОПЛЕНИЯ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ ТЕРРИТОРИИ ИЗМАЙЛОВСКОГО ПАРКА

В отличие от воды и атмосферного воздуха, которые являются лишь миграционными средами, почва является объективным и стабильным индикатором техногенного загрязнения. Долгие годы почвы могут накапливать и удерживать в себе загрязняющие вещества, которые, превысив адаптационную способность биоты, приводят к неминуемой деградации почвенных экосистем. Поэтому экологический мониторинг почв важен для предотвращения деградации природных сред [1].

Проделанная работа позволила установить степень загрязнения почв и количественно определить кратность перехода тяжелых металлов вертикально вниз по почвенному профилю на территории Измайловского парка.

Сравнение результатов исследования почв Измайловского парка в 2010 и 2011 гг. показывает высокий уровень самоочищения почв от тяжелых металлов, что можно объяснить хорошей пропускной способностью почвы по отношению к тяжелым металлам и высокой миграционной подвижностью токсичных элементов.

Данные по активности каталазы в ферментативном подгоризонте и горизонте А1 в летний период 2011 г. достигли высоких значений, сопоставимых с данными, представленными в литературе, что позволяет судить о нормальном функционировании почвенной биоты [2].

Опираясь на полученные данные, впервые для оценки состояния почвенных экосистем при загрязнении аэротехногенными поллютантами авторы предложили определять градиент перехода (K_{Π}) тяжелых металлов в процессе трансформации органической массы за один год из растительного опада (01) в ферментативный слой подстилки (02). Градиент перехода определяли для двух загрязнителей — свинца и меди: для свинца

$K_{\Pi} = (15,71 \pm 0,65)$, для меди $K_{\Pi} = (4,82 \pm 0,15)$. Полученные значения свидетельствуют о высокой самоочищающей активности среды.

Литература

1. **Мотузова Г.В., Безуглова О.С.** Экологический мониторинг почв: учебник. М.: Академический проект; Гаудеамус, 2007.
2. **Коваленко Л.А., Бабушкина Л.Г.** Биологическая активность лесных почв как показатель уровня адаптации почвенных экосистем к техногенному воздействию. Екатеринбург: УрГСХА, 2003.

*Ю.В. Горлякова, Е.Н. Ченцова, учащиеся (школа № 422, Москва);
рук-ли В.В. Скибенко, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»);
Л.А. Герасина, методист ГБОУ ЦО №422 «Перово»*

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ (ЭМП) ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ПОЧВЕННЫЕ БИОСИСТЕМЫ

Влияние ЭМП на различных представителей животного мира изучено, по сравнению с их влиянием на человека, очень слабо [1]. ЭМП от наземных источников частично отражаются от земной поверхности, вместе с тем значительная их часть переходит в почвогрунты — активную среду. Все почвенно-грунтовые биоценозы связаны трофическими сетями. Способность почвы к самоочищению от различных загрязнений обусловлена активностью почвенных ферментов, что является интегральным показателем функционирования всей почвенной биоты [2].

Исследования по определению активности фермента каталазы под воздействием ЭМП проводили газометрическим методом, основанным на изменении скорости разложения перекиси водорода при ее взаимодействии с материалом почвы. В настоящей работе отбор проб почв горизонтов A_0 и A_1 методом конверта проводился под линией электропередачи (ЛЭП) на расстояниях 15 и 20 м. Контрольные пробы почв брались на расстоянии 50 м от ЛЭП.

Исследования влияния ЛЭП на активность каталазы проводились в Сочинском национальном парке и Измайловском лесопарке Москвы в середине вегетационного периода 2012 г. (июль), когда наблюдается самая высокая биологическая активность.

Анализируя данные таблиц по активности каталазы на различных расстояниях от ЛЭП промышленной частоты, видим, что активность сильно изменяется. Результаты исследований свидетельствуют о перспективности проведения ферментативного анализа для оценки биологической активности почв в зоне физического загрязнения и степени влияния электромагнитного поля на биоту почвы.

Литература

1. **Электромагнитная безопасность человека** / Ю.Г. Григорьев и др. Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999.
2. **Мотузова Г.В., Безуглова О.С.** Экологический мониторинг почв: учебник. М.: Гаудеамус, 2007.

*Н.М. Ефанов, учащийся (школа № 422, Москва);
рук-ли Л.А. Герасина, методист ГБОУ ЦО № 422 «Перово»;
И.М. Ладенкова, к.х.н., учит. химии ГБОУ ЦО № 422 «Перово»*

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭКОСУМОК

В настоящее время ученые и специалисты в области экологии создают и ищут безопасные материалы для производства экосумок. На современном рынке России используют полиэтиленовые и бумажные пакеты. Полиэтилен является чужеродным для окружающей среды материалом, который, внедряясь в экосистемы, нарушает их функционирование. Производство и переработка бумаги — это одно из грязных производств. К тому же нельзя бесконечно перерабатывать бумагу, она теряет свои первоначальные свойства.

В настоящее время специалистами разработан биополиэтилен, но это не решает проблему загрязнения окружающей среды. Биополимер разрушается на большие молекулярные фрагменты, которые дальше не разлагаются и накапливаются в окружающей среде.

В данной работе рассмотрены положительные и отрицательные стороны использования различных материалов для экосумок. Проведены исследования способности данных материалов разлагаться в различных средах. Выполнен анализ литературных источников, в которых рассмотрены положительные и отрицательные стороны использования полиэтилена, полипропилена, бумаги, биопластика [1].

На основе полученных данных рекомендовано вместо полиэтилена использовать полипропилен, но с условием его переработки. Полипропилен является сопутствующим веществом при переработке нефти [2]. Он на 100 % перерабатывается, не теряя при этом своих свойств. Данный материал можно перерабатывать бесконечное количество раз.

Предложено использовать для производства экосумок натуральные материалы, к примеру лен или хлопок. Данные материалы производятся из возобновимых ресурсов, при отсутствии стадий окрашивания и отбеливания их производство является чистым.

Литература

1. **Трилор Л.** Введение в науку о полимерах. М.: Мир, 1973. — 238 с.
2. **Беккер Г.** Введение в электронную теорию органических реакций. М.: Мир, 1977. — 658 с.

*А.В. Львова, М.А. Широбоков, учащиеся (школа № 422, Москва);
рук-ли Л.А. Герасина, методист ГБОУ ЦО № 422 «Перово»;
В.В. Скибенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПИКОЛИНАТ ХРОМА. ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Цель данной работы — просвещение населения с целью заботы об их здоровье при использовании в лечебных целях препаратов, содержащих трехвалентный хром. Хром является важным микроэлементом, необходимым для нормального функционирования организма человека. В то же время хром в повышенных количествах обладает канцерогенными свойствами. Для профилактики различных заболеваний в качестве источника хрома используется ФЭТ-Х-пиколинат хрома (Chromium (III) picolinate).

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выявление положительных и отрицательных сторон влияния соединений хрома на здоровье человека.
2. Анализ рынка биологически активных добавок (БАД), содержащих хром.
3. Химический анализ БАД и установление соответствия между содержанием Cr^{3+} и его предельно допустимой концентрацией (ПДК) [1].
4. Рекомендации по использованию БАД.

В ходе выполнения работы на рынке современных биологически активных добавок установлено несоответствие между рекомендуемыми дозировками и ПДК. При приеме концентраций Cr^{3+} , превышающих суточную биологическую дозу, возможно развитие раковых заболеваний. При этом хром трехвалентный соединяется с белками, содержащими железо, белками печени, костным мозгом, нуклеиновыми кислотами, накапливается в легких, нарушая биохимические процессы [2].

По итогам работы даны рекомендации по использованию средств, содержащих ФЭТ-Х. Потребителям следует знать суточную биологическую дозу Cr^{3+} , равную 200 мкг/сут. Для установления безопасной дозы необходимо уметь рассчитывать безопасную суточную дозировку. Нужно помнить, что превышение установленных концентраций ради стройной фигуры и наращивания мышечной массы может привести к негативным последствиям.

Литература

1. **Крешков А.П.** Основы аналитической химии. Качественный и количественный анализ. М.: Госхимиздат, 1961.
2. **Дубкова Е.Б., Зайцев В.А.** Лабораторный практикум по курсу «Промышленная экология»: учеб. пособие. — М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ДЛЯ ЛАНДШАФТНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Потребность в моделировании изменений, происходящих на Земле, привела к созданию теоретической базы — ландшафтной теории.

Санитарно-гигиеническое нормирование используется в качестве нормативной базы для ограничения техногенных загрязнений не только населенных пунктов и промышленных площадок, но и природных сообществ. Установлены максимальные разовые и среднесуточные предельно допустимые концентрации (ПДК) в воздухе для растений двенадцати загрязняющих веществ. Комплексная нагрузка по максимальные разовой ПДК этих веществ для растений более чем в 2 раза превышает нагрузку, рассчитанную для человека.

Цель экосистемного нормирования — сохранить природу в таком состоянии, в котором все живые организмы могут реализовать свое право на существование[1].

Выбор показателей для ландшафтного нормирования:

1. Химические загрязнители атмосферного воздуха:

$$\sum_1^n C_i / \text{ПДК}_i \leq n, \quad (1)$$

где C_i — концентрация загрязнителей в воздухе; ПДК_i — предельно-допустимая концентрация для растений.

2. Показатель суммарного загрязнения почв Z_c должен быть не более 8, он рассчитывается по формуле Ю.Е. Саета [2]

$$Z_c = \left(\sum_1^n S_i / C_{\text{ПДК}} \right) - (n - 1), \quad (2)$$

где S_i — концентрация загрязнителя; $C_{\text{ПДК}}$ — ПДК загрязнителя.

3. Коэффициент каталазы почвы (ККП) должен быть от 15 до 30 %:

$$\text{ККП} = c \cdot 100\% / (a + b + c),$$

где c — показатель активности каталазы в подгоризонте A_1 ; a, b — показатели активности каталазы в подгоризонтах O_1 и O_2 соответственно.

В точках, соответствующих найденным значениям предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН), определяется концентрация токсиантов. Если эти концентрации ниже соответствующих ПДК, то ПДК в расчет не принимаются, так как выполнение гарантируется ПДЭН.

Литература

1. Скибенко В.В., Матасова О.Е. Ландшафтный мониторинг — основа благополучия экосистем // 8 Междунар. конф. «Наука, образование, производство в решении экологических проблем». Экология — 2011, Уфа, 2011 г.

2. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. М.: Гаудеамус, 2007.

*И.А. Полунин, М.А. Бобылев, учащиеся (школа № 422, Москва);
рук-ли В.В. Скибенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
Л.А. Герасина, методист ГБОУ ЦО № 422 «Перово»*

НИТРАТОМЕТРИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Оценка качества поверхности вод (степени их загрязненности) хорошо разработана и базируется на представительном пакете нормативных и директивных документов, использующих прямые гидрохимические и гидрологические методы и критерии оценки. В данной работе внимание было уделено способности водоема к самоочищению. Исследование водоема на активность ферментов позволяет оценить способность водоема к самоочищению.

Способность водоемов к установлению в них биологического равновесия обеспечивается деятельностью населяющих их организмов, бактерий, водорослей и высших водных растений.

В поверхностных водах нитраты находятся в растворенной форме. Амплитуда сезонных колебаний может служить одним из показателей эвтрофирования водного объекта. В незагрязненных поверхностных водах концентрация нитрат-ионов не превышает значений порядка десятков микрограммов в 1 дм³ (в пересчете на азот). С нарастанием эвтрофикации абсолютная концентрация нитратного азота и его доля в сумме минерального азота возрастают [1].

Исследования динамики потенциальной активности фермента нитрат-редуктазы воды в водоеме подтвердили зависимость состояния биологической активности от степени деградации биоценозов.

Отбор проб воды в Измайловском парке проводился из Красного пруда. Так как пруд активно используется для купания, растительность в нем практически не развита [2].

Фермент нитратредуктазы в пробах воды из пруда проявил слабую активность, что свидетельствует о сильном загрязнении водоема и необходимости проводить мероприятия по его очистке.

Литература

1. **ГОСТ 17.1.3.07 — 82.** Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.
2. **Отбор** проб для анализа загрязнения биосферы / В.В. Скибенко и др. М.: Издательство МЭИ, 2006.

АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Воздействие тепловых электростанций на окружающую среду зависит от используемого топлива. В конце XX в. баланс топлива в Российской Федерации был следующим: газ — 49 %, нефть — 31 %, уголь — 13 %, другие виды топлива — 7 % [1]. Сопоставление усредненных показателей по загрязнению атмосферы продуктами сгорания теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) показало, что сернистый мазут, на котором работает рассматриваемая котельная, является более безопасным для окружающей среды сырьем, чем каменный или бурый уголь, но менее безопасным, чем природный газ. В дымовых газах, выбрасываемых в атмосферу, содержатся оксид углерода, оксид азота, сернистый ангидрид, пятиокись ванадия, а также сажа и пыль. Все эти вещества опасны для окружающей среды в целом и для организма человека в частности [2].

В ходе работы были произведены расчеты максимальной приземной концентрации вредных веществ и ширины санитарно-защитной зоны. Также были выбраны необходимые аппараты и разработана новая последовательность очистки дымовых газов от вредных веществ. Для удаления сажи и пятиокси ванадия был предложен мокрый золоуловитель марки ВТИ, для снижения уровня оксидов азота — селективное каталитическое восстановление, для удаления диоксида серы — технология с полным абсорбером-сушилкой [3].

В дальнейшем разработанная система очистки дымовых газов может быть рекомендована для теплоэлектроцентралей, основным видом топлива которых является мазут.

Литература

1. **Ануфриев В.П., Чазов А.В.** Энергоэффективность и проблема изменения климата.: М.: УЦЭЭ, 2006.
2. **Экология** энергетики: учебное пособие / В.Я. Путилов, Б.С. Ксенофонтов, М.И. Сапаров и др. — М.: Издательство МЭИ, 2003.
3. **Сидельковский Л.Н., Юрнеев В.Н.** Котельные установки промышленных предприятий. М.: БАСТЕТ, 2009.

*А.С. Степанова, И.В. Чучавина, учащиеся (школа № 422, г. Москва);
рук-ли Л.А. Герасина, методист ГБОУ ЦО № 422 «Перово»;
В.В. Скибенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ

В настоящее время на одной трети возделываемых земель планеты пахотный слой разрушается быстрее, чем восстанавливается. Ситуация становится еще серьезнее по мере того, как люди начинают обрабатывать и использовать непригодные для ведения сельского хозяйства и скотоводства земли, чтобы прокормить растущее население земли. Такое обращение с почвой превращает ее из потенциально возобновимого ресурса в невозобновимый [1].

Для рационального использования земель и снижения эрозии почвы необходимо разработать удобную систему классификации почв, не требующую больших объемов химического анализа. К тому же почвенный покров является частью экосистемы, и необходимо при классификации почв учитывать факт состояния экосистемы в целом.

В данной работе представлена интегральная система классификации состояния почвенного покрова с учетом состояния биогеоценоза. За основу взяты исследования почв на каталазную активность газометрическим методом [2]. При исследованиях проводился анализ почвенного покрова национального парка (НП) Смоленское Поозерье, Сочинского НП, Тебердинского и Кабардино-Балкарского высокогорного заповедников, а также экологически неблагополучных районов центральной части России и Урала.

На основе представленной классификации можно оценить состояние почвенного покрова и экосистем из любого региона РФ. При неблагополучных показателях земель рекомендуется изымать из оборота сильно эродированные или загрязненные почвы для проведения мероприятий по восстановлению систем нормального функционирования почвенного покрова и биогеоценоза в целом.

Литература

1. **Миллер Т.** Спешите спасти планету. Ч II / пер. с англ. под ред. Г.А. Ягодина. М.: Прогресс-Пангея, 1994.
2. **Биологическая** активность компонентов агробиогеоценозов как показатель адаптации экосистем к антропогенному загрязнению / Л.Г. Бабушкина, Л.А. Коваленко, О.П. Неверова, В.Г. Судакова. — Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ (МАКУЛАТУРЫ)

В современных условиях переработка макулатуры (как элемента первичных отходов) является одним из способов получения вторичного сырья с последующим использованием его в промышленных целях [1].

Потенциал данной отрасли в России и в экономике Татарстана до конца не раскрыт. Доля макулатуры в промышленных отходах составляет 0,9 %, в структуре твердых бытовых отходов доля макулатуры обычно составляет около 30 %. Доля собранных вторичных материальных ресурсов в общем объеме образующихся твердых бытовых и промышленных отходов всего лишь 13 % [2].

Существует достаточное количество технологий по переработке данного сырья (бумажных отходов), экономический потенциал которых до конца не раскрыт и не имеет широкого применения на предприятиях Российской Федерации и Татарстана, что связано с региональными особенностями экономики и природоохранными требованиями.

Одним из вариантов решения данной проблемы, как с экологической, так и с экономической точки зрения может стать строительство мини-заводов по переработке макулатуры с последующим использованием полученного материала в качестве сырья для изготовления широкого ассортимента продукции, а именно, бумажных изделий санитарно-бытового назначения.

Учитывая тот факт, что объемы твердых бытовых отходов, в том числе макулатуры, растут, расширяя площади полигонов для их хранения и усугубляя экологическую обстановку в регионе, строительство таких мини-заводов становится актуальным.

Сроки окупаемости подобных заводов составят порядка шести месяцев.

Данные показатели были рассчитаны авторами в проекте по созданию мини-завода в рамках проведения городского конкурса социально-значимых проектов в области природоохранной деятельности.

Литература

1. **Бобович С.В.** Переработка твердых отходов: учебник для вузов. М., 2002.
2. **Игнатьев С.Т.** Промышленная экология: учебник для вузов. М., 2005.

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ — ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	3
Секция 15. Математическое моделирование.....	5
Секция 16. Прикладная математика.....	28
Секция 17. Вычислительная техника и САПР	49
Секция 18. Вычислительные машины, сети и системы.....	54
Секция 19. Управление и информатика в технических системах	61
Секция 20. Вычислительно-измерительные системы	83
Секция 21. Неразрушающий контроль и диагностика	102
НАПРАВЛЕНИЕ — ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ	137
Секция 22. Электромеханические преобразователи энергии	139
Секция 23. Физика и технология материалов и компонентов	165
Секция 24. Электротехнические и электромеханические системы и комплексы	181
Секция 25. Электрические и электронные аппараты.....	206
Секция 26. Электропривод и автоматика	237
Секция 27. Промышленные электротермические установки.....	284
Секция 28. Электрический транспорт.....	320
НАПРАВЛЕНИЕ — ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ	343
Секция 29. Инженерная экология	345

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭНЕРГЕТИКА

**Девятнадцатая Международная научно-техническая
конференция студентов и аспирантов**

Тезисы докладов
В 4 томах

Том 2

Компьютерная верстка и подготовка
оригинал-макета *М.Н. Маркиной*

Печать офсетная
Тираж 360 экз.

Формат бумаги 60×84/16
Усл. п.л. 22,1
Заказ

Уч.-изд. л. 20,6

ЗАО «Издательский дом МЭИ», 111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 14
Отпечатано в типографии ПЦ МЭИ, 111116, Москва, Красноказарменная ул., д. 13, стр. 4